

Intraoperative haemodynamic monitoring and management of adults having non-cardiac surgery

Bernd Saugel · Thorsten Anneck · Berthold Bein · Moritz Flick · Matthias Goepfert · Matthias Gruenewald · Marit Habicher · Bettina Jungwirth · Tilo Koch · Karim Kouz · Agnes S. Meidert · Gunther Pestel · Jochen Renner · Samir Sakka · Michael Sander · Sascha Treskatsch · Amelie Zitzmann · Daniel A. Reuter

► **Zitierweise:** Saugel B, Anneck T, Bein B, Flick M, Goepfert M, Gruenewald M et al: S1-Leitlinie: Intraoperative klinische Anwendung von hämodynamischem Monitoring bei nicht-kardiologischen Patient:innen. *Anästh Intensivmed* 2024;65:193–212. DOI: 10.19224/ai2024.193

S1-Leitlinie

Intraoperative klinische Anwendung von hämodynamischem Monitoring bei nicht-kardiologischen Patient:innen

AWMF-Registernummer:
001–049; Version: 1.0

Zitation der Leitlinie:

Saugel B et al: S1-Leitlinie Intraoperative klinische Anwendung von hämodynamischem Monitoring bei nichtkardiologischen Patient:innen, verfügbar unter: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/001-049>

Erstellungsdatum: 20.09.2023

Nächste Überarbeitung geplant:
Januar 2028

Leitlinienkoordination: Prof. Dr. Bernd Saugel, Prof. Dr. Daniel Reuter, Prof. Dr. Michael Sander, Prof. Dr. Bettina Jungwirth

Federführung:

Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI)

Beteiligte Fachgesellschaften:

Diese S1-Leitlinie wurde vom Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI) am 29.09.2023 verabschiedet.

Schlüsselwörter

Hämodynamik – Monitoring – Blutdruck – Herzfrequenz – Schlagvolumen – Herzzeitvolumen – Echokardiographie

Keywords

Haemodynamics – Monitoring – Blood Pressure – Heart Rate – Stroke Volume – Cardiac Output – Echocardiography

Die wichtigsten Empfehlungen auf einen Blick

- Die intraoperative Blutdrucktherapie soll anhand des mittleren arteriellen Blutdrucks gesteuert werden.
- Intraoperativ soll der mittlere arterielle Blutdruck über 65 mmHg gehalten werden.
- Schlagvolumen-/Herzzeitvolumen-Monitoring kann bei Patient:innen mit einem hohen Risiko für Komplikationen oder bei Patient:innen, die sich einer Operation mit hohem Risiko unterziehen müssen, angewendet werden.

Besondere Hinweise

Die Medizin unterliegt einem fortwährenden Entwicklungsprozess, sodass alle Angaben, insbesondere zu diagnostischen und therapeutischen Verfahren, immer nur dem Wissensstand zum Zeitpunkt der Drucklegung der Leitlinie entsprechen können. Benutzer:innen bleiben selbst verantwortlich für jede diagnostische und therapeutische Maßnahme.

In dieser Leitlinie sind eingetragene Warenzeichen (geschützte Warennamen) nicht besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus dem Fehlen eines entsprechenden Hinweises nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Hintergrund und Zielsetzung der Leitlinie

Die Überwachung und Therapie der Herz-Kreislauf-Funktion (hämodynamisches Monitoring und Management) sind Grundsäulen der perioperativen anästhesiologischen Behandlung. Das übergeordnete Ziel der hämodynamischen Therapie ist die Aufrechterhaltung der Organfunktionen durch die Sicherstellung von adäquatem Perfusionsdruck, Blutfluss und Sauerstoffangebot. Hierdurch sollen perioperative Komplikationen verhindert werden, die weiterhin ein großes Problem in der perioperativen Medizin darstellen. So zeigten international prospektiv erhobene Daten von elektiv-chirurgischen Patient:innen, dass die Rate an perioperativen Komplikationen mit knapp 20 % weiterhin sehr hoch ist [1,2]. Perioperative Komplikationen nehmen einen erheblichen Einfluss auf die Langzeitmorbidity (und somit auch auf die Lebensqualität) und Sterblichkeit [3]. Das heißt im Umkehrschluss, dass die Vermeidung von perioperativen Komplikationen durch eine Optimierung der Herz-Kreislauf-Funktion zu einem langfristig besseren Behandlungsergebnis beitragen kann. In den letzten zwei Dekaden wurden zudem die technischen Möglichkeiten zur Überwachung der Herz-Kreislauf-Funktion – insbesondere zur weniger invasiven Messung von Schlag- und Herzzeitvolumen – deutlich erweitert [4–6].

Die Zielsetzung dieser Leitlinie war, die für die tägliche klinische Praxis wich-

tigen Fragen zum intraoperativen hämodynamischen Monitoring und Management zu identifizieren, in einer Leitliniengruppe zu diskutieren und auf Basis des aktuellen Wissensstandes zu beantworten.

Informationen zu dieser Leitlinie

Auswahl der Kernfragen der Leitlinie

Unsere Grundannahme war, dass die Auswahl von Themen mit hoher Relevanz für die klinische Praxis durch Expert:innen, die sich klinisch und wissenschaftlich intensiv mit einem Spezialgebiet auseinandersetzen, nicht repräsentativ für alle klinisch tätigen Anästhesiolog:innen sein kann. Daher haben wir im Vorfeld an drei Universitätskliniken (Gießen, Hamburg und Rostock) alle Weiterbildungsassistent:innen sowie Fachärzt:innen für Anästhesiologie digital befragt, welches die für sie wichtigsten Fragen rund um das intraoperative hämodynamische Monitoring und Management sind. Die Antworten dienten als Grundlage zur Formulierung der Kernfragen, die innerhalb der Leitliniengruppe diskutiert und beantwortet wurden.

Konsensusfindung

Eine finale Abstimmung der einzelnen Empfehlungen dieser Leitlinie erfolgte unter Berücksichtigung der individuellen Interessenskonflikte der Mitglieder der Leitliniengruppe (Anhang 1) mit Hilfe eines Online-Abstimmungstools.

Konsensuseinstufung

Die Stärke des Konsensus ergibt sich aus der verwendeten Formulierung entsprechend der Abstufung in folgender Tabelle.

Empfehlung für eine Maßnahme/Intervention	Empfehlung gegen eine Maßnahme/Intervention	Beschreibung
„soll“	„soll nicht“	starke Empfehlung
„sollte“	„sollte nicht“	Empfehlung
„kann“/ „ist unklar“	„kann verzichtet werden“/ „ist unklar“	Empfehlung offen

Geltungsbereich und Anwenderzielgruppe

Diese Leitlinie richtet sich an Anästhesiolog:innen in Klinik und Praxis und andere medizinische Fachrichtungen, die an der intraoperativen klinischen Anwendung von hämodynamischem Monitoring bei nicht-kardiochirurgischen Patient:innen beteiligt sind. Darüber hinaus soll die Leitlinie Kostenträgern und politischen Entscheidungsträgern zur Orientierung dienen.

Darstellung des Bezugs zu anderen Leitlinien

Die vorliegende Leitlinie steht in engem Bezug zu anderen Leitlinien, die Aspekte des hämodynamischen Monitorings und Managements auf ihre spezifischen Belange abbilden. Hier sind insbesondere die deutschsprachigen S3-Leitlinien „Intensivmedizinische Versorgung herzchirurgischer Patient:innen – Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf“, „Intravasale Volumentherapie bei Erwachsenen“ sowie die Gemeinsame Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie und der Deutschen Gesellschaft für Innere Medizin „Präoperative Evaluation erwachsener Patienten vor elektiven, nicht herz-thoraxchirurgischen Eingriffen“ zu nennen. Ebenso finden sich Anlehnungen an die internationalen Leitlinien der European Society of Cardiology and European Society of Anaesthesiology and Intensive Care „2022 ESC Guidelines on cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery: Developed by the task force for cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care (ESAIC)“, sowie die Consensus Statements der ESICM „Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine“. Nicht alle Empfehlungen sind hierbei deckungsgleich. Dies ist damit zu begründen, dass sich die jeweiligen Anforderungen an hämodynamisches

Monitoring und Management bei unterschiedlichen klinischen Umständen unterscheiden.

Allgemeine Grundsätze dieser Leitlinie

Integrative Beurteilung hämodynamischer Variablen

Die einzelnen Variablen des hämodynamischen Monitorings stellen oft nur eine Beurteilung von Teilaspekten der eigentlichen Herz-Kreislauf-Funktion dar, nämlich der Aufrechterhaltung einer adäquaten Sauerstoffversorgung der Endorgane. Grundsätzlich unterstreicht die Leitliniengruppe daher, dass im Zuge der intraoperativen hämodynamischen Evaluation von Patient:innen die einzelnen Komponenten des hämodynamischen Monitorings immer nur Bausteine in der Gesamtevaluation der klinischen Situation darstellen können. Innerhalb des hämodynamischen Monitorings ist, je nach Komplexität der perioperativen kardiovaskulären Situation, eine Skalierung des Einsatzes der zur Verfügung stehenden Überwachungsverfahren erforderlich. Dies reicht vom nicht-invasiven Basismonitoring bei allen bis zum Einsatz des Pulmonalarterienkatheters bei hochselektierten Patient:innen, bei denen gezielt die pulmonal-vaskuläre Strombahn therapeutisch beeinflusst werden soll. Weiter müssen die Ergebnisse des apparativen Monitorings stets im Kontext mit Befunden der körperlichen Untersuchung und Ergebnissen anderer diagnostischer Verfahren sowie des chirurgischen Kontext interpretiert werden. Interdisziplinäre Kommunikation ist in diesem Zusammenhang von herausragender Bedeutung.

Plausibilität und Bedeutung des Rohsignals einer Messung

Wenn möglich, ist neben einer numerischen Darstellung hämodynamischer Messergebnisse die Anzeige des Rohsignals der Messung zu fordern, um zum einen Artefakte (z. B. gedämpfte Druckkurven) zu erkennen, zum anderen aber auch weiterführende diagnostische Informationen aus dem Rohsignal ableiten zu können.

Kontinuität von Messungen

Kontinuierliche Messungen von hämodynamischen Variablen sind prinzipiell anzustreben und intermittierenden Messungen vorzuziehen.

Vermeidung von Invasivität

Eine Reduktion bzw. Vermeidung von invasiven Methoden des hämodynamischen Monitorings ist im Sinne einer Verbesserung des Risiko-Nutzen-Verhältnisses anzustreben. Jede Verringerung der Invasivität muss allerdings immer kritisch gegen einen potenziellen Verlust von Messgenauigkeit gegenüber invasiven Methoden abgewogen werden.

Kontinuität von hämodynamischen Therapiestrategien

Überwachungs- und Therapiestrategien sollten interdisziplinär und bereichsübergreifend etabliert werden, um so durch Kontinuität eine optimale Behandlungseffektivität zu erreichen. Ein Beispiel hierfür ist die Verankerung von hämodynamischen Therapiekonzepten im ERAS (Enhanced Recovery after Surgery)-Konzept [7].

Fragen und Empfehlungen

1) Wie soll das Blutdruckmonitoring mittels Oszillometrie durchgeführt werden?

Empfehlung 1

Die oszillometrische Blutdruckmessung soll – wenn möglich – am Oberarm erfolgen.

Empfehlung 2

Zur oszillometrischen Blutdruckmessung soll eine für den Umfang des Oberarms passende Manschettengröße gewählt und die Manschette ohne Kontakt zum Olecranon eng um den Oberarm angelegt werden.

Empfehlung 3

Bei der oszillometrischen Blutdruckmessung soll die Oberarmmanschette auf Herzhöhe positioniert sein und keine externe Kompression oder Manipulation der Manschette während der Messung erfolgen.

Empfehlung 4

Für Patient:innen in Allgemeinanästhesie sollte die oszillometrische Blutdruckmessung alle 3 Minuten erfolgen. Das Messintervall für die oszillometrische Blutdruckmessung soll den klinischen Gegebenheiten angepasst werden.

Die automatisierte Oszillometrie ist die perioperativ am häufigsten verwendete Methode zur nicht-invasiven Messung des arteriellen Blutdrucks (im Folgenden werden die Begriffe „arterieller Blutdruck“ und „Blutdruck“ synonym verwendet; wenn nicht der arterielle, sondern ein anderer Blutdruck (z. B. der zentralvenöse Blutdruck) gemeint ist, wird dieser eindeutig benannt). Allerdings ist die Oszillometrie keine direkte „Messung“ des Blutdrucks im eigentlichen Sinne. Bei der oszillometrischen Blutdruckmessung wird die Arterie (z. B. Arteria brachialis) durch den Druck einer luftgefüllten Manschette okkludiert und durch graduelles Ablassen des Manschettendrucks wieder eröffnet. Während dieses Messvorgangs erzeugt die Pulswelle in der okkludierten bzw. teilokkludierten Arterie Oszillationen, die durch das Gewebe an die luftgefüllte Manschette weitergegeben werden. Die hierdurch in der Manschette hervorgerufenen Oszillationen der Luft werden schließlich durch einen elektronischen Drucksensor im Messgerät aufgezeichnet (sog. Oszillogramm). Die Oszillationen beginnen oberhalb des systolischen arteriellen Blutdrucks, erreichen um den mittleren arteriellen Blutdruck ihr Maximum und fallen zum diastolischen arteriellen Blutdruck hin wieder ab. Die maximale Oszillationsamplitude beträgt dabei nur ca. 1–4 mmHg [8]. Basierend auf dem Oszillogramm wird mittels gerätespezifischer, populationsbasierter Algorithmen der Blutdruck abgeschätzt [9]. Viele Algorithmen setzen den mittleren arteriellen Blutdruck an den Punkt der maximalen Amplitude – der vergleichsweise einfach identifiziert werden kann – und messen diese Komponente des Blutdrucks deshalb am genauesten [9]. Andere Algorithmen bestimmen primär den systolischen und diastolischen arteriellen Blutdruck und leiten daraus den mittleren arteriellen

Blutdruck ab. Die Algorithmen werden von den Geräteherstellern meist nicht offengelegt.

Die Wahl der adäquaten Manschettengröße in Relation zum Oberarmumfang ist für eine korrekte Messung essenziell. Bei der Verwendung einer zu kleinen Manschette wird der Blutdruck überschätzt, bei der Verwendung einer zu großen Manschette wird der Blutdruck unterschätzt [10]. Die Manschette soll ohne Kontakt zum Olecranon passend um den Arm gelegt werden, um eine zirkuläre Kompression zu ermöglichen. Die Oberarmmanschette soll bei der Messung auf Herzhöhe positioniert sein. Externe Kompression, Erschütterung oder Muskelaktivität während der Messung führen zu Artefakten.

Befindet sich die Manschette während der Messung über Herzhöhe, werden aufgrund hydrostatischer Höhenunterschiede falsch niedrige Blutdruckwerte gemessen [11]. Befindet sich die Manschette während der Messung unter Herzhöhe, werden aufgrund hydrostatischer Höhenunterschiede falsch hohe Blutdruckwerte gemessen [11].

Generell gilt für die Oszillometrie, dass niedrige Blutdruckwerte systematisch überschätzt werden und hohe Blutdruckwerte systematisch unterschätzt werden [12–14]. Dies führt unter Umständen zu einem verspäteten Erkennen von Hypo- bzw. Hypertension.

Für Patient:innen in Allgemeinanästhesie sollte die Messung alle 3 Minuten erfolgen. Wird eine engmaschigere Überwachung für notwendig erachtet, ist ein kontinuierliches Verfahren angezeigt. Das Messintervall für die oszillometrische Blutdruckmessung soll den klinischen Gegebenheiten angepasst werden.

2) Bei welchen Patient:innen soll die Blutdruckmessung kontinuierlich erfolgen?

Empfehlung

Eine kontinuierliche Blutdruckmessung soll bei allen Patient:innen durchgeführt werden, die aufgrund von anästhesiologischen oder operativen Maßnahmen oder aufgrund von Begleiterkrankungen ein Risiko für Hypo- bzw. Hypertensionsassoziierte Komplikationen haben.

Die kontinuierliche Messung des Blutdrucks kann invasiv mit einem arteriellen Katheter (Referenzmethode, Goldstandard) oder nicht-invasiv (z. B. mittels Fingercuff-Methode) erfolgen.

Eine kontinuierliche Blutdruckmessung ermöglicht die Detektion und damit auch eine unmittelbare Therapie von schnell auftretender Hypotension oder Hypertension. Die kontinuierliche Blutdruckmessung kann somit helfen, das Auftreten von Blutdruckschwankungen und intraoperativer Hypotension zu reduzieren [15–19].

Die Entscheidung für eine kontinuierliche Blutdruckmessung sollte in Abhängigkeit des operativen und Patient:innen-individuellen Risikos für Blutdruckschwankungen getroffen werden [20]. Operationen, bei denen eine engmaschige Blutdruckmessung erfolgen soll, sind u. a. intrakranielle und gefäßchirurgische Operationen, Operationen in sitzender Lagerung sowie Operationen mit zu erwartender Hypotension (z. B. durch Blutungen). Patient:innen-individuelle Faktoren für eine kontinuierliche Blutdruckmessung sind u. a. kardiovaskulär vorerkrankte Patient:innen bzw. Patient:innen mit einem hohen Risiko für kardiovaskuläre Komplikationen, ein erhöhter intrakranieller Druck (mit der Gefahr für einen zu niedrigen zerebralen Perfusionsdruck) sowie Rupturgefährdete Aneurysmen.

Unabhängig von den zuvor genannten Indikationen für eine kontinuierliche Blutdruckmessung kann diese auch bei Patient:innen indiziert sein, bei denen eine intermittierende Blutdruckmessung mittels Blutdruckmanschette ungenau oder schwierig durchführbar ist (z. B. schwere Adipositas) [21,22].

Es gibt somit prinzipiell viele Indikationen, den arteriellen Blutdruck kontinuierlich zu messen. Um die Grundlage für eine breite Anwendung der kontinuierlichen Blutdruckmessung zu legen, geht die Aufforderung an alle Medizintechnik entwickelnden Unternehmen, messgenaue und wirtschaftlich sinnvolle Messmethoden zur nicht-invasiven kontinuierlichen Blutdruckmessung zu entwickeln.

3) Wie soll die kontinuierliche Blutdruckmessung erfolgen?

Empfehlung 1

Die kontinuierliche Blutdruckmessung sollte mit einem arteriellen Katheter erfolgen.

Empfehlung 2

Bei geeigneten Patient:innen kann ein nicht-invasives kontinuierliches Verfahren angewendet werden.

Die direkte intraarterielle Blutdruckmessung mit einem arteriellen Katheter ist die klinische Referenzmethode (Goldstandard) zur Messung des arteriellen Blutdrucks [23]. Bei korrekter Anwendung ist die intraarterielle Blutdruckmessung (per definitionem) das genauere Messverfahren als nicht-invasive Blutdruckmessmethoden. Bei Messdiskrepanzen zwischen korrekt angewendeter intraarterieller Blutdruckmessung und nicht-invasiver Blutdruckmessung soll die intraarterielle Blutdruckmessung für Therapieentscheidungen verwendet werden.

Der Einsatz der intraarteriellen Blutdruckmessung lässt sich durch den kontinuierlichen Messcharakter, die Messgenauigkeit und die Möglichkeit der Entnahme von arteriellem Blut rechtfertigen. Schwere Komplikationen, die mit der Anlage eines arteriellen Katheters einhergehen können, sind sehr selten [24–26]. Der kontinuierliche Messcharakter erlaubt es, Blutdruckveränderungen in Echtzeit zu verfolgen und therapeutische Maßnahmen umgehend einzuleiten. Nicht-invasive Blutdruckmessmethoden weisen insbesondere bei Patient:innen mit hohem Volumenumsatz oder Vasopressorbedarf und bei sehr hohen oder sehr niedrigen Blutdruckwerten Messungenauigkeiten auf [12,27,28], sodass hier eine intraarterielle Blutdruckmessung präferiert werden sollte. Bei Patient:innen mit niedrigem oder mittlerem perioperativen Risiko kann ein nicht-invasives kontinuierliches Verfahren zur Blutdruckmessung verwendet werden.

4) Soll die Anlage des arteriellen Katheters zur intraarteriellen Blutdruckmessung vor Einleitung der Allgemeinanästhesie erfolgen?

Empfehlung

Die Anlage eines arteriellen Katheters soll bei bestehender Indikation für eine intraarterielle Blutdruckmessung vor der Narkoseeinleitung erfolgen.

Hypotension während der Narkoseeinleitung ist häufig und mit postoperativen Komplikationen assoziiert [29,30]. Im Gegensatz zu Hypotension während der Operation ist Hypotension während der Narkoseeinleitung hauptsächlich auf das anästhesiologische Management zurückzuführen und damit antizipierbar [31]. Hypotension während der Narkoseeinleitung soll aufgrund der Assoziation von Hypotension und Komplikationen vermieden werden [30,32–35]. Bei der oszillometrischen Blutdruckmessung bleibt Hypotension aufgrund des intermittierenden Messcharakters der oszillometrischen Blutdruckmessung bzw. der systematischen Überschätzung von niedrigen Blutdruckwerten durch die Oszillometrie oft unerkannt [12,16,17, 19]. In einer randomisiert kontrollierten Studie mit 242 nicht-herzchirurgischen Patient:innen konnte gezeigt werden, dass eine kontinuierliche intraarterielle Blutdruckmessung – im Vergleich zur oszillometrischen Blutdruckmessung – die Dauer und Schwere von Hypotension während der Narkoseeinleitung deutlich reduziert [16]. Bei bestehender Indikation für eine intraarterielle Blutdruckmessung soll daher die Anlage des arteriellen Katheters bereits vor der Narkoseeinleitung erfolgen und in der Einleitungsphase nicht durch ein intermittierendes, nicht-invasives Messverfahren ersetzt werden [16].

5) Welches Gefäß soll für die Anlage des arteriellen Katheters genutzt werden?

Empfehlung

Ein arterieller Katheter sollte primär in die Arteria radialis gelegt werden.

Die in der Anästhesiologie und Intensivmedizin verwendeten arteriellen Katheter sind insgesamt mit einem geringen Risiko für Komplikationen durch die Katheteranlage verbunden [24–26]. Bei der Anlage des arteriellen Katheters in die Arteria radialis treten im Vergleich zur Anlage in die Arteria brachialis und Arteria femoralis weniger Komplikationen auf [25]. So traten in einer retrospektiven Analyse von über 60.000 arteriellen Katheteranlagen im operativen Setting 2,7 vaskuläre oder neurologische Komplikationen pro 10.000 Katheteranlagen in die Arteria radialis auf – und 9,0 bzw. 12,3 pro 10.000 Katheteranlagen in die Arteria femoralis bzw. Arteria brachialis [25]. Zusätzlich ist die Arteria radialis aufgrund der arteriellen Kollateralversorgung der Hand, der guten Zugänglichkeit im klinischen Alltag und der einfachen Möglichkeit der Kompression bei Blutungskomplikationen für die Anlage eines arteriellen Katheters zu bevorzugen. Arterielle Katheter mit einem geringeren Durchmesser (20 G) sind mit weniger Komplikationen assoziiert als Katheter mit einem größeren Durchmesser (18 G) [25]. Die Anlage von arteriellen Kathetern sollte in ultraschallgesteuerter Punktionstechnik durchgeführt werden [36–38].

6) Welche Fehlerquellen müssen bei der intraarteriellen Blutdruckmessung berücksichtigt werden?

Empfehlung 1

Das Messsystem der intraarteriellen Blutdruckmessung soll immer auf ein korrektes Positionieren des Druckabnehmers bzw. auf einen korrekten Nullabgleich überprüft werden.

Empfehlung 2

Das intraarterielle Blutdrucksignal soll immer auf Dämpfungsphänomene überprüft werden.

Um eine korrekte intraarterielle Blutdruckmessung zu gewährleisten, muss das Messsystem korrekt benutzt werden. Häufige Fehlerquellen müssen bekannt sein und sollen beseitigt werden [39].

Das Messsystem muss korrekt abgeglichen werden, um hydrostatische Druckdifferenzen zwischen dem Druckabnehmer und dem Referenzniveau (i. d. R. dem rechten Vorhof [40]) zu korrigieren [39]. Pro 10 cm Höhenunterschied zwischen Druckabnehmer und Referenzniveau resultiert ein Blutdruckunterschied von ca. 7,5 mmHg. Beim „Leveln“ wird der Druckabnehmer auf der Höhe des Referenzniveaus positioniert. Bei Lageänderungen von Patient:innen relativ zum Druckabnehmer muss dieser gleichsinnig mitbewegt werden. Beim „Nullen“ wird ein flüssigkeitsgefüllter Schlauch (oft auch „Nullleitung“ genannt) mit dem freien Ende am Körper auf Höhe des Referenzniveaus angebracht und anschließend ein Nullabgleich durchgeführt. Die Verwendung einer Nullleitung kann insbesondere bei Patient:innen, bei denen während der Operation der Druckabnehmer aufgrund von eingeschränkter Sicht auf die Patient:innen nicht exakt positioniert werden kann, vorteilhaft sein [41]. Bei Lageänderungen von Patient:innen relativ zum Druckabnehmer muss ein erneuter Nullabgleich durchgeführt werden.

Das Messsystem soll engmaschig auf Dämpfungsphänomene – z. B. mittels Fast-Flush-Test – untersucht werden [39,42]. Ein unterdämpftes Messsystem kann zu einer Überschätzung des systolischen arteriellen Blutdrucks und zu einer Unterschätzung des diastolischen arteriellen Blutdrucks führen [39]. Häufige Gründe für ein unterdämpftes Messsystem sind zusätzlich eingebaute Schlauchverlängerungen oder Dreiweghähne. Ein überdämpftes Messsystem hingegen kann zu einer Unterschätzung des systolischen arteriellen Blutdrucks und zu einer Überschätzung des diastolischen arteriellen Blutdrucks führen [39]. Häufige Gründe für ein überdämpftes Messsystem sind ein zu niedriger Druck im angeschlossenen Druckbeutel, Luft im Messsystem, Thromben im Katheter, abgeknickte Schläuche bzw. Katheter oder ein an der Gefäßwand anliegender Katheter. Dämpfungsphänomene haben zudem einen negativen Einfluss auf die Messgenauigkeit von Pulskonturanalyse-Monitoren [39,43].

Das komplette Messsystem inkl. des an das Messsystem angeschlossenen Druckbeutels samt Tropfkammer muss luftfrei sein, um eine Überdämpfung des Messsystems zu vermeiden. Zudem stellt Luft innerhalb des Messsystems eine potenzielle Gefahr für Luftembolien dar. Luft in der Nullleitung führt zu einem systematischen Messfehler [39]. In dem an das Messsystem angeschlossenen Druckbeutel soll stets ein Druck von ca. 300 mmHg vorliegen, um einen minimalen Fluss innerhalb des Messsystems zu gewährleisten – dies beugt einer Thrombosierung des Katheters vor [39].

7) Wie muss die Lagerung von Patient:innen bei der Blutdruckmessung berücksichtigt werden?

Empfehlung 1

Insbesondere während Lagerungswechsel sollte der Blutdruck engmaschig oder besser kontinuierlich gemessen werden.

Empfehlung 2

Bei allen Lagerungen, bei denen das übliche Referenzniveau „rechter Vorhof“ tiefer liegt als die Schädelbasis, soll der nicht-invasiv gemessene mittlere arterielle Blutdruck um die hydrostatische Druckdifferenz korrigiert bzw. das Referenzniveau der kontinuierlichen arteriellen Blutdruckmessung auf Schädelbasis-Höhe festgelegt werden.

Verschiedene intraoperative Lagerungen (z. B. sitzende Lagerung, Bauchlagerung, Seitenlagerung und entsprechende Modifikationen) gehen mit einem erhöhten Risiko für intraoperative Hypotension einher [44–46]. Bei der Lagerung mit erhöhtem Oberkörper liegt eine wesentliche Ursache für diese Hypotension in der Umverteilung des Blutvolumens von zentralen in periphere Kompartimente mit einem konsekutiven Abfall der kardialen Vorlast. Bei Flanken- und Bauchlagerung, speziell bei der sog. Concorde-Lagerung (Bauchlagerung mit erhöhtem Oberkörper), kann es zu Behinderungen des venösen Rückstroms durch Kompression der Vena cava inferior kommen. Auch die Aufhebung der Lagerung kann zu einem Blutdruckabfall führen. Daher sollte während eines Lagerungswechsels

eine engmaschige oder besser eine kontinuierliche Blutdruckmessung genutzt werden [47].

Außerdem kommt es bei allen Lagerungsformen, bei denen der Kopf höher liegt als das übliche Referenzniveau „rechter Vorhof“, zu einer hydrostatisch bedingten Druckdifferenz zwischen dem zentralen und dem zerebralen mittleren arteriellen Blutdruck. Daher soll bei diesen Operationen der Zielwert beim nicht-invasiv gemessenen mittleren arteriellen Blutdruck um die hydrostatische Druckdifferenz korrigiert bzw. das Referenzniveau der kontinuierlichen arteriellen Blutdruckmessung auf Schädelbasis-Höhe festgelegt werden, um den Blutdruck im Circulus arteriosus cerebri zu erfassen [48,49]. Die entsprechende Maßnahme sollte im Narkoseprotokoll dokumentiert werden. Im Gegensatz dazu sollte bei Kopftief Lagerung der Zielwert nicht korrigiert werden bzw. die Vorhofebene als Referenzniveau verbleiben, da der mittlere arterielle Blutdruck auf Höhe des Gehirns durch die Lagerung höher ist [50].

Bei der Seitenlagerung sollte die oszillometrische Blutdruckmessung am oben liegenden Arm erfolgen. Auch hierbei ist eine ggf. vorhandene hydrostatische Druckdifferenz zu berücksichtigen.

8) Anhand welcher Komponente des arteriellen Blutdrucks soll die Blutdrucktherapie gesteuert werden?

Empfehlung

Die intraoperative Blutdrucktherapie soll anhand des mittleren arteriellen Blutdrucks gesteuert werden.

Der systolische arterielle Blutdruck wird als der maximale Aortendruck definiert, der erreicht wird, nachdem der linke Ventrikel in der Systole Blut in die Aorta ausgestoßen hat. Der systolische arterielle Blutdruck wird hauptsächlich durch das linksventrikuläre Schlagvolumen und die Dehnbarkeit der arteriellen Gefäße bestimmt [51]. Während der Entspannung und Wiederauffüllung des linken Ventrikels sinkt der Aortendruck nach Schluss der Aortenklappe auf einen Tiefpunkt, der als diastolischer arterieller

Blutdruck bezeichnet wird [52,53]. Der diastolische arterielle Druck hängt von der arteriellen Compliance (Steifigkeit), der Herzfrequenz sowie dem Widerstand im Gefäßsystem ab. Der mittlere arterielle Blutdruck entspricht der Fläche unter der arteriellen Blutdruckkurve während eines Herzzyklus.

Eine retrospektive Datenbankstudie zeigte, dass die Stärke der Assoziationen zwischen Organschädigung (akutes Nierenversagen, Myokardschaden) und Hypotension ähnlich stark sind, wenn man Hypotension anhand des mittleren arteriellen Blutdrucks oder des systolischen arteriellen Blutdrucks definiert [54]. Die Assoziation zwischen Organschädigung und Hypotension, definiert anhand des diastolischen arteriellen Blutdrucks, war dagegen sehr schwach [54].

Die intraoperative Blutdrucktherapie soll anhand des mittleren arteriellen Blutdrucks gesteuert werden, da der mittlere arterielle Blutdruck den Einfluss-Blutdruck („inflow pressure“) für die meisten Organsysteme darstellt. Außerdem ist die Messung des mittleren arteriellen Blutdrucks weniger vom Messort abhängig als die Messung des systolischen und diastolischen arteriellen Blutdrucks, weil sich der mittlere arterielle Blutdruck entlang des Arterienbaumes nur in geringem Maße ändert – während der systolische arterielle Blutdruck in Richtung Peripherie progressiv ansteigt und der diastolische arterielle Blutdruck abfällt [55].

9) Welcher Blutdruck-Zielwert soll angestrebt werden?

Empfehlung

Intraoperativ soll der mittlere arterielle Blutdruck über 65 mmHg gehalten werden.

In einer Reihe retrospektiver Datenbankstudien konnte gezeigt werden, dass niedrige Blutdruckwerte während einer Operation mit Organschädigung assoziiert sind [30,32–35,54,56–61]. Die Assoziation von Hypotension mit Organschädigung ist dabei abhängig von der Schwere und Dauer der Hypotension [30,32–35,54,56–61]. Auf Populations-

ebene steigt das Risiko für eine akute Nieren- und Myokardschädigung bei Werten des mittleren arteriellen Blutdrucks unter 60–70 mmHg und Werten des systolischen arteriellen Blutdrucks unter 90–100 mmHg deutlich an [54]. Optimale intraoperative Blutdruck-Zielwerte für einzelne Patient:innen sind allerdings unklar. Es liegen nur wenige randomisiert-kontrollierte Studien zu einem zielgerichteten intraoperativen Blutdruckmanagement vor [62–64].

In einer monozentrischen Studie führte ein intraoperativer Zielwert für den mittleren arteriellen Blutdruck von ≥ 75 mmHg – im Vergleich zu ≥ 60 mmHg – bei 458 Hochrisiko-Patient:innen nicht zu einer Reduktion der Inzidenz eines kombinierten primären Endpunktes aus akutem Myokardschaden, akutem Nierenversagen, kardiovaskulären Komplikationen oder Tod [62]. Ebenso zeigte die POISE-3-Studie [64] bei mehr als 7.000 Patient:innen keinen relevanten Unterschied in der Inzidenz schwerer kardiovaskulärer Komplikationen zwischen Patient:innen, die zu einem Hypotensions-vermeidenden Blutdruckmanagement mit intraoperativem Zielwert für den mittleren arteriellen Blutdruck von ≥ 80 mmHg oder einem Hypertensions-vermeidenden Blutdruckmanagement mit intraoperativem Zielwert für den mittleren arteriellen Blutdruck von ≥ 60 mmHg randomisiert wurden [64].

Da präoperative Blutdruckprofile eine hohe inter-individuelle Variabilität aufweisen [29], wird vermutet, dass ein individualisiertes Blutdruckmanagement Hypotensions-assoziierte Komplikationen reduzieren könnte. In einer kleinen multi-zentrischen Studie mit 198 nicht-herzchirurgischen Patient:innen reduzierte ein individualisiertes Blutdruckmanagement (basierend auf einem einzelnen präoperativen systolischen arteriellen Blutdruckwert) – im Vergleich zu einem Routine-Blutdruckmanagement – die Inzidenz eines kombinierten primären Endpunktes (systemisches inflammatorisches Response-Syndrom und Organdysfunktion mindestens eines Organsystems innerhalb einer Woche nach der Operation) [63].

Aufgrund der Assoziation von intraoperativer Hypotension und Organschädigung auf Populationsebene soll der mittlere arterielle Blutdruck während einer Operation über 65 mmHg bzw. der systolische arterielle Blutdruck über 90–100 mmHg gehalten werden [23,65]. Derzeit laufende große Studien werden weitere Evidenz zu absoluten (Clinical Trials.gov: NCT04884802) oder individuellen Blutdruck-Zielwerten (Clinical Trials.gov: NCT05416944) [66] schaffen. Intraoperative Hypertension bei nicht-kardiologischen Patient:innen ist unzureichend untersucht. Bisher gibt es keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen intraoperativer Hypertension und postoperativem Organschaden [67]. Es gibt somit keine ausreichende Evidenz, um einen generellen oberen Grenzwert für den Blutdruck zu empfehlen, ab dem eine Therapie eingeleitet werden sollte.

10) Welcher Herzfrequenz-Zielwert soll angestrebt werden?

Empfehlung 1

Eine Bradykardie soll therapiert werden, wenn diese mit einer klinisch relevanten Hypotension, Minderperfusion bzw. Einschränkung des Sauerstoffangebots einhergeht.

Empfehlung 2

Bei dem Vorliegen einer Tachykardie soll ein Volumenmangel ausgeschlossen werden.

Die Herzfrequenz bestimmt zusammen mit dem Schlagvolumen das Herzzeitvolumen und ist damit eine wichtige Determinante des Sauerstoffangebots [68]. Generell ist eine Bradykardie als eine Herzfrequenz <60 Schläge/Minute definiert [69], eine Tachykardie als eine Herzfrequenz >100 Schläge/Minute [70]. Diese populationsbasierten Grenzwerte werden in der Regel auch perioperativ angewendet – für individuelle Patient:innen sind sie allerdings nur von eingeschränktem Nutzen und aktuell nicht evidenzbasiert. Absolute Grenzwerte für individuelle Patient:innen können daher derzeit nicht angegeben werden.

Perioperative Bradykardien sind häufig [71] und oft durch die Allgemeinanästhesie [72–74], vasoaktive Substanzen [75] oder die Operation [76] selbst bedingt. Eine Bradykardie kann zu einer Hypotension [77] und einer kritischen Verminderung des Sauerstoffangebots führen, wenn die frequenzbedingte Reduktion des Herzzeitvolumens nicht durch eine Erhöhung des Schlagvolumens kompensiert werden kann [78]. Eine Erhöhung der Herzfrequenz führt bei niedrigem Herzzeitvolumen in der Regel zu einer Erhöhung des Sauerstoffangebots.

Perioperative Tachykardien können z. B. durch einen Volumenmangel, eine unzureichende Narkosetiefe bzw. Analgesie oder eine systemische Inflammationsreaktion ausgelöst werden. Durch eine kritische Verkürzung der Diastole kann es zu einem unzureichenden myokardialen Sauerstoffangebot bei gleichzeitig erhöhtem Verbrauch kommen. Dies ist vor allem bei Patient:innen mit einer diastolischen Funktionsstörung oder Herzinsuffizienz zu berücksichtigen [78–80]. Eine intraoperative Tachykardie kann daher mit einem erhöhten Risiko für myokardiale Ischämien einhergehen.

11) Bei welchen Patient:innen sollen Schlagvolumen/Herzzeitvolumen überwacht werden?

Empfehlung

Schlagvolumen-/Herzzeitvolumen-Monitoring kann bei Patient:innen mit einem hohen Risiko für Komplikationen oder bei Patient:innen, die sich einer Operation mit hohem Risiko unterziehen müssen, angewendet werden.

Prinzipiell empfehlen wir, das Schlagvolumen und das Herzzeitvolumen auf die individuelle Körperoberfläche zu indizieren (Schlagvolumenindex, Herzindex), um somit die Vergleichbarkeit der Messwerte interindividuell zu ermöglichen. Die Entscheidung, ob das Schlagvolumen/Herzzeitvolumen gemessen werden sollte, sollte sich nach dem Risiko für intra- und postoperative Komplikationen richten [81]. Das Risiko für Komplikationen ergibt sich aus Patient:innen-spezifische und Operations-spe-

zifischen Risikofaktoren. Patient:innen-spezifische Risikofaktoren sind z. B. die einer Operation zugrunde liegende Diagnose, das Alter und kardiovaskuläre oder pulmonale Vorerkrankungen [81–83]. Operations-spezifische Risikofaktoren sind z. B. die Invasivität des Eingriffs, das Risiko für einen hohen Blutverlust oder eine Notfallindikation [82,84]. Die Einschätzung des individuellen Risikos ist häufig komplex, da viele Faktoren berücksichtigt werden müssen. Es gibt eine Reihe von Scores, die zur Abschätzung des perioperativen Risikos verwendet werden sollten [85–87].

Je höher das Patient:innen-spezifische und Operations-spezifische Risiko, desto eher sollten Schlagvolumen/Herzzeitvolumen überwacht werden. Insbesondere bei Patient:innen mit einem hohen Risiko für perioperative Komplikationen kann eine Schlagvolumen-/Herzzeitvolumen-basierte Therapie das Risiko für Komplikationen reduzieren [88,89]. Das alleinige Messen des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens kann das postoperative Outcome nicht verbessern [90].

12) Welcher Zielwert für Schlagvolumen/Herzzeitvolumen soll angestrebt werden?

Empfehlung 1

Zielwerte für Schlagvolumen/Herzzeitvolumen sollen für Patient:innen individuell definiert werden.

Empfehlung 2

Das Schlagvolumen/Herzzeitvolumen soll im Kontext mit klinischen und metabolischen Zeichen einer Hypoperfusion interpretiert werden.

Empfehlung 3

Es soll keine routinemäßige Maximierung von Schlagvolumen/Herzzeitvolumen erfolgen.

Die Regulation des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens erfolgt entsprechend des metabolischen Bedarfs. Die Therapiesteuerung anhand des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens sollte daher

unter Berücksichtigung von Variablen des Sauerstoffangebots und -verbrauchs (z. B. Sauerstoffsättigung, Hämoglobinkonzentration, zentralvenöse Sauerstoffsättigung, Laktat) erfolgen. Der Zielwert für das Herzzeitvolumen sollte somit das Herzzeitvolumen sein, das für individuelle Patient:innen in der jeweiligen klinischen Situation ein ausreichendes Sauerstoffangebot ermöglicht. Als Ruhewert wird ein Herzindex von $2,1\text{--}3,3\text{ l/min/m}^2$ bei gesunden Erwachsenen angegeben. Dabei ist der Ruhewert abhängig von Alter, Geschlecht und Vorerkrankungen [91,92].

Die Anwendung von hämodynamischen Therapiekonzepten, in denen Variablen des Blutflusses (Schlagvolumen/Herzzeitvolumen) eine zentrale Rolle einnehmen, resultierte mehrheitlich in einer Reduktion von postoperativen Komplikationen (z. B. Infektionen, Organschädigungen) [88,93,94]. Die meisten blutflussgesteuerten hämodynamischen Therapiekonzepte zielen auf eine Patient:innen-individuelle Maximierung des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens ab [94]. In zwei kleinen randomisiert-kontrollierten Studien konnte ein intraoperatives Anstreben des individuellen präoperativen Herzindexwertes bzw. des Herzindexwertes nach Narkoseeinleitung postoperative Komplikationen reduzieren [95,96]. Optimale Zielwerte für Schlagvolumen/Herzzeitvolumen bleiben allerdings unklar und hängen vermutlich von dem Ausmaß des operativen Traumas und systemischer Inflammation ab [97]. Das Anstreben von Patient:innen-individuellen, maximalen (OPTIMISE-II-Studie [98]; Ergebnisse präsentiert auf dem EBPOM World Congress of Prehabilitation Medicine 2023 in London am 06.07.2023) oder „supranormalen“ Werten wird nicht empfohlen [99–101].

13) Welche Tests sollen zur Einschätzung der Volumenreagibilität verwendet werden?

Empfehlung 1

Zur Evaluation der Volumenreagibilität bei kontrolliert beatmeten Patient:innen sollen dynamische Vorlastvariablen (z. B. Pulsdruckvariation oder Schlagvolumenvariation) verwendet werden.

Empfehlung 2

Falls dynamische Vorlastvariablen nicht verwendet werden können, sollten Schlagvolumen-/Herzzeitvolumen-basierte Tests mit einer Flüssigkeits-Challenge durchgeführt werden.

Empfehlung 3

Statische Vorlastvariablen (z. B. zentralvenöser Druck) sollen nicht für die Einschätzung der Volumenreagibilität verwendet werden.

Empfehlung 4

Auch bei volumenreagiblen Patient:innen soll die Indikation einer Volumentherapie individuell in der Zusammenschau der gesamten Hämodynamik und klinischer Befunde getroffen werden.

Die Einschätzung von Volumenreagibilität ist ein wichtiger Baustein in der Volumentherapie [102,103]. Volumenreagibilität bedeutet, dass sich durch einen Flüssigkeitsbolus das Schlagvolumen/Herzzeitvolumen steigern lässt [104–106]. Die Anwendung der Testverfahren zur Beurteilung der Volumenreagibilität erfolgt in Abwägung der klinischen Situation und unter Beachtung der verfahrensimmanenten Limitationen. Grundsätzlich gilt es, sowohl Volumenmangel als auch Volumenüberladung zu vermeiden [107].

Pulsdruckvariation (PPV) und Schlagvolumenvariation (SVV) sind dynamische Vorlastvariablen. PPV und SVV resultieren aus der Herz-Lungen-Interaktion und können bei kontrollierter Beatmung mit ausreichend hohen Tidalvolumina (mindestens 8 ml/kg) und Sinusrhythmus zur Vorhersage der Volumenreagibilität genutzt werden [108–111].

Die Grenzwerte zur Unterscheidung zwischen volumenreagibel und nicht-reagibel werden in der Literatur für die PPV im Mittel von 11 % (Spannweite 8–15 %) und für die SVV im Mittel von 11 % (Spannweite 7,5–15,5 %) angegeben [112]. Um diese Grenzwerte existiert eine Grauzone (9–13 %), in der die Vorhersagefähigkeit der Volumenreagibilität eingeschränkt ist [113]. PPV- und SVV-Werte $\leq 8\%$ sprechen gegen eine Volumenreagibilität und Werte $\geq 14\%$ für eine Volumenreagibilität. Auch bei volumenreagiblen Patient:innen soll die Indikation einer Volumentherapie individuell in der Zusammenschau der gesamten Hämodynamik und klinischer Befunde getroffen werden; Volumenreagibilität ist nicht mit Volumenbedarf gleichzusetzen.

Die Fähigkeit von PPV und SVV Volumenreagibilität vorherzusagen, hat Limitationen, die unter dem Akronym „LIMITS“ zusammengefasst werden können (**L**ow heart rate/respiratory rate ratio; **I**rrregular heart rhythm; **M**echanical ventilation with low tidal volume; **I**ncreased abdominal pressure; **T**horax open, **S**pontaneous breathing) und in der klinischen Praxis beachtet werden sollen [114,115].

Können die dynamischen Vorlastvariablen nicht verwendet werden, sollte eine Flüssigkeits-Challenge mit Messung der Flüssigkeits-induzierten Veränderung von Schlagvolumen/Herzzeitvolumen durchgeführt werden, um die Volumenreagibilität einzuschätzen [105,116,117]. Hierfür wird ein definierter Flüssigkeitsbolus in einem kurzen Zeitraum appliziert und eine Veränderung des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens evaluiert. Ein Anstieg des Schlagvolumens/Herzzeitvolumens um 10–15 % wird dabei als Zeichen der Volumenreagibilität gewertet. Allerdings muss beachtet werden, dass – je nach Größe des Flüssigkeitsbolus – dieses Verfahren gleichzeitig Test und therapeutische Maßnahme ist und auch im Falle einer fehlenden Volumenreagibilität ein Flüssigkeitsbolus verabreicht wird [118,119]. Außerdem kann in Einzelfällen ein durch Flüssigkeitsgabe optimiertes Schlagvolumen zu einem (physiologischen) Abfall der Herz-

frequenz führen, sodass es keinen Netto-Effekt für das Herzzeitvolumen gibt. Eine gemeinsame Evaluation des Schlagvolumens und des Herzzeitvolumens ist daher im Rahmen der Beurteilung einer Volumenreagibilität sinnvoll.

Statische druckbasierte und volumetrische Vorlastvariablen, wie zentralvenöser Druck und globales enddiastolisches Volumen, sollen nicht zur Evaluation der Volumenreagibilität verwendet werden, haben aber weiterhin eine Bedeutung in der Beurteilung von Hämodynamik und klinischem Verlauf [109].

14) Wann soll eine intraoperative Echokardiographie durchgeführt werden?

Empfehlung 1

Die Echokardiographie soll bei therapieresistanter hämodynamischer Instabilität, insbesondere bei unklarer Ätiologie, durchgeführt werden.

Empfehlung 2

Die Echokardiographie kann zur Steuerung einer hämodynamischen Therapie verwendet werden.

Empfehlung 3

Die Echokardiographie soll gespeichert und die Befunde in der Patient:innen-Akte dokumentiert werden.

Mit der Echokardiographie lassen sich direkte pathophysiologische Rückschlüsse auf die hämodynamische Situation und deren Veränderungen ableiten [120]. Man unterscheidet dabei zwischen der transthorakalen (TTE) und der transösophagealen Echokardiographie (TEE). Im Gegensatz zur semi-invasiven TEE ist die TTE nicht-invasiv und sollte daher bevorzugt eingesetzt werden [121,122]. Während Operationen kann jedoch eine TTE unmöglich oder die Bildqualität, v. a. bei beatmeten Patient:innen, eingeschränkt sein, sodass eine TEE indiziert ist [123].

Mithilfe der Echokardiographie können Determinanten der kardialen Funktion direkt visualisiert werden: Volumenstatus, Kontraktibilität bzw. Funktion des rechten und linken Ventrikels sowie

Klappenmorphologie und -funktion. Außerdem können mögliche strukturelle Abnormalitäten/Pathologien sowie Perikard-/Pleuraergüsse erkannt werden.

Eine intraoperative fokussierte Echokardiographie soll bei therapieresistanter hämodynamischer Instabilität, insbesondere bei unklarer Ätiologie, durchgeführt werden. Die Echokardiographie beinhaltet nur wenige Untersuchungsschritte, ist zügig durchführbar und kann helfen, die perioperative Therapie zu optimieren. Die Echokardiographie kann auch zur Indikationsstellung für ein erweitertes hämodynamisches Monitoring, wie z. B. den Einsatz eines Pulmonalarterienkatheters (z. B. bei rechtsventrikulärer Dysfunktion oder pulmonaler Hypertonie), beitragen. Eine Echokardiographie ist nicht zwingend notwendig, wenn eine hämodynamische Instabilität durch eine Therapie entsprechend der Verdachtsdiagnose erfolgreich behandelt werden konnte.

Eine präoperative fokussierte Echokardiographie sollte bei (Notfall-) Patient:innen mit Verdacht auf oder bekannter klinisch relevanter kardiovaskulärer Vorerkrankung durchgeführt werden, um intraoperative Befunde im Rahmen einer hämodynamischen Instabilität besser interpretieren zu können [124–129].

Jede Echokardiographie, insbesondere eine TEE [121], soll von einem adäquat ausgebildetem Untersucher durchgeführt werden. Zudem soll eine Supervisionsstruktur innerhalb der Klinik bestehen [130]. Die Ausbildung kann durch das DGAI-Curriculum „Perioperative fokussierte Echokardiographie (PFE)“ [131] sowie das Zertifikat „Transösophageale Echokardiographie“ [132] oder vergleichbare nationale oder internationale Zertifikate nachgewiesen werden.

15) Soll die Urinausscheidung zur Beurteilung der Hämodynamik verwendet werden?

Empfehlung

Die Urinausscheidung soll nicht isoliert zur Diagnose einer Hypovolämie oder hämodynamischen Therapiesteuerung verwendet werden.

Eine normale Urinausscheidung wird häufig als Zeichen eines adäquaten Volumenstatus und Herzzeitvolumens interpretiert. Die Urinausscheidung geht zudem in wesentliche Klassifikationssysteme für akutes Nierenversagen wie RIFLE [133], AKIN [134] und KDIGO [135] ein. Ein Rückgang der Urinproduktion kann Folge einer Kreislaufinstabilität mit Verminderung der renalen Perfusion sein. Darüber hinaus kann ein erhöhter intra-abdomineller Druck, wie z. B. im Rahmen laparoskopischer Eingriffe, eine vorübergehende Oligo-Anurie induzieren. Daher sollen neben der Überprüfung der Normovolämie bei Hypovolämie andere mögliche Ursachen einer Oligurie ergründet und ggf. therapiert werden.

Eine intraoperative Oligurie ist bei nicht-herzchirurgischen Patient:innen mit einem postoperativen akuten Nierenversagen assoziiert [136,137]. Der prädiktive Stellenwert einer intraoperativen Oligurie für ein postoperatives akutes Nierenversagen scheint jedoch gering [138]. Zusätzlich zeigte eine Metaanalyse von 28 Studien mit 4.835 Patient:innen, dass die Aufrechterhaltung eines definierten Urinvolumens die Ausbildung eines akuten Nierenversagens nicht verhindern kann [139,140]. Eine größere Metaanalyse von 36 Studien und insgesamt 5.373 Patient:innen zeigte darüber hinaus, dass die Aufrechterhaltung eines definierten Urinvolumens mit keinem positiven Effekt auf die perioperative Sterblichkeit assoziiert war [141].

16) Soll der Laktat-Wert zur Beurteilung der Hämodynamik verwendet werden?

Empfehlung 1

Bei Verdacht auf eine Hypoperfusion oder eine unzureichende Gewebeoxygenierung soll der Laktat-Wert zur Beurteilung der Hämodynamik bestimmt werden.

Empfehlung 2

Ein erhöhter Laktat-Wert soll unter Berücksichtigung möglicher nicht hämodynamischer Ursachen beurteilt werden.

Point-of-Care-Blutgasanalysen ermöglichen eine bettseitige Laktatmessung aus arteriellem oder venösem Blut. Laktat-Werte >2 mmol/l gelten als pathologisch und sind, insbesondere bei Vorliegen einer Laktazidose, d. h. einer Laktatämie in Zusammenhang mit einem Abfall des pH-Wertes, mit einem schlechten Outcome assoziiert [142]. Während der Zusammenhang zwischen einer Laktatämie und einem schlechten Outcome bei Patient:innen im (septischen) Schock [142–144] und nach kardiochirurgischen Operationen [145] gut beschrieben ist, gibt es bisher wenige große Studien bei Patient:innen mit nicht-kardiochirurgischen Operationen [146]. Dennoch kann eine perioperative Laktatämie einen anaeroben Stoffwechsel als Folge einer Hypoperfusion, eines unzureichenden Sauerstoffangebots oder einer gestörten Sauerstoffverwertung anzeigen [147,148]. Eine perioperative Laktatämie bei Patient:innen mit nicht-kardiochirurgischen Operationen sollte somit, unter Berücksichtigung möglicher Differenzialdiagnosen wie z. B. einer Leberinsuffizienz, Medikamenteneinnahme (z. B. Metformin [149], SGLT-2-Inhibitoren, Linezolid), Thiaminmangel oder Neoplasien [150], als Zeichen für eine Hypoperfusion und möglicher Risikofaktor für postoperative Komplikationen gewertet werden. Auch eine regionale Hypoperfusion bei akuten Gefäßverschlüssen sowie ein Laktatanstieg bei Epinephringabe [149] sind differentialdiagnostisch zu bedenken.

Neben einzelnen Laktatmessungen ist die Laktat-Clearance, also der Abfall des Laktats über die Zeit, ein wichtiger prognostischer Faktor. Bei hämodynamischer Instabilität oder vorliegender Laktatämie sollten Laktatmessungen daher in regelmäßigen Intervallen wiederholt werden, z. B. mindestens alle zwei Stunden wie im Schock empfohlen [151]. Erhöhtes Laktat ist ein unspezifischer Marker, der immer im Zusammenhang mit hämodynamischen Variablen interpretiert werden sollte.

17) Soll die zentralvenöse Sauerstoffsättigung zur Beurteilung der Hämodynamik verwendet werden?

Empfehlung

Bei Verdacht auf eine Hypoperfusion oder eine unzureichende Gewebeoxygenierung kann die zentralvenöse Sauerstoffsättigung zur zusätzlichen Beurteilung der Hämodynamik bestimmt werden.

Die zentralvenöse Sauerstoffsättigung ($S_{cv}O_2$) kann mittels Point-of-Care-Blutgasanalyse bei in der V. cava superior einliegendem zentralvenösen Katheter bestimmt werden. Die $S_{cv}O_2$ spiegelt das globale Verhältnis von Sauerstoffangebot und Sauerstoffverbrauch wider [152]. Damit besteht ein enger Zusammenhang mit dem Herzzeitvolumen. Gleichzeitig reflektiert die $S_{cv}O_2$ aber auch die Sauerstoffausschöpfung und den Metabolismus [153]. Auch bei einer normwertigen $S_{cv}O_2$ ($>70\%$) lässt sich eine regionale Hypoperfusion oder Gewebhypoxie nicht sicher ausschließen [154]. Die $S_{cv}O_2$ wird auch durch andere Einflussfaktoren beeinflusst, wie z. B. den arteriellen Sauerstoffgehalt, das Temperaturmanagement und die Sedierung [152,155]. Eine niedrige $S_{cv}O_2$ ist nicht nur bei kritisch kranken Patient:innen, sondern auch nach nicht-kardiochirurgischen Operationen mit einem erhöhten Risiko für Komplikationen assoziiert [156,157]. Eine randomisiert kontrollierte Studie mit 241 Patient:innen zeigte keinen klinisch relevanten Unterschied in der Rate von postoperativen Komplikationen zwischen einer $S_{cv}O_2$ -gesteuerten Flüssigkeitstherapie im Vergleich zur klinischen Routine bei Patient:innen mit kolorektalen Operationen [158]. Aufgrund der zahlreichen perioperativen Einflussfaktoren ist die $S_{cv}O_2$ relativ unspezifisch für die Beurteilung der Hämodynamik und daher eher als ergänzende Variable denn als Steuerungsparameter für die hämodynamische Therapie zu werten.

18) Welchen Stellenwert hat das Monitoring der Mikrozirkulation mittels Videomikroskopie?

Empfehlung

Das Monitoring der Mikrozirkulation mittels Videomikroskopie soll nicht zur Steuerung der hämodynamischen Therapie eingesetzt werden.

Die Mikrozirkulation beschreibt die Durchblutung in der kleinsten funktionellen Einheit unseres hämodynamischen Systems [159]. Die Funktionalität der Mikrozirkulation ist essenziell für einen suffizienten Sauerstoff- und Nährstoffaustausch und somit die Organfunktion [159]. Die Mikrozirkulation kann regional mittels Videomikroskopie visualisiert und quantifiziert werden. Dieses direkte Monitoring der Mikrozirkulation ist jedoch technisch anspruchsvoll und zeitaufwendig in der Analyse [160]. In der Regel wird die Mikrozirkulation, aufgrund der einfachen Zugänglichkeit, sublingual gemessen [160]. Eine Übertragbarkeit der sublingualen Messungen auf andere Regionen des Körpers ist nicht zwangsläufig gegeben [161,162]. Die prognostische Bedeutung einer gestörten Mikrozirkulation in Ausmaß und Dauer sind im (septischen) Schock [163–165] und bei kardiochirurgischen Patient:innen [166–168] gut beschrieben.

Bis zu einem gewissen Grad scheinen die Mikrozirkulation und die Makrozirkulation aneinander gekoppelt zu sein [169]. Störungen der Mikrozirkulation können allerdings auch dann auftreten, wenn die Makrozirkulation adäquat und erhalten zu sein scheint [170].

Bei Patient:innen mit elektiven nicht-kardiochirurgischen Operationen sind Störungen der Mikrozirkulation, insbesondere unabhängig von einer gestörten Makrozirkulation, eher selten [171–174]. Weitere Studien sind notwendig, um zu untersuchen, ob und inwieweit gezielte Therapiemöglichkeiten im Sinne der Optimierung der Mikrozirkulation mit einem positiven Effekt verbunden sind [175].

19) Soll die Nahinfrarotspektroskopie zur Beurteilung der Hämodynamik herangezogen werden?

Empfehlung

Nahinfrarotspektroskopie kann ergänzend zur Beurteilung der Hämodynamik herangezogen werden.

Die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) ermöglicht das Messen der regionalen Sauerstoffsättigung in Gefäßen als Surrogat für die Gewebeoxygenierung. Im Gegensatz zur Pulsoxymetrie kann NIRS nicht zwischen arterieller und venöser Sauerstoffsättigung unterscheiden.

Absolute Werte der regionalen Sauerstoffsättigung zeigen eine hohe interindividuelle Variabilität, sodass häufig relative Veränderungen im Vergleich zu Ausgangswerten berücksichtigt werden [176–178].

NIRS wird am häufigsten zur Überwachung der zerebralen Oxygenierung verwendet. Der Effekt eines perioperativen NIRS-Monitorings auf das postoperative zerebrale Outcome bei Erwachsenen ist nicht abschließend geklärt [179].

NIRS kann auch als somatische Oxy-metrie angewendet werden, z. B. zur Messung der Gewebeoxymetrie der Muskeln und der Nieren [180]. Aufgrund unterschiedlicher Ansätze der verschiedenen NIRS-Technologien können die einzelnen verfügbaren Monitoringverfahren nicht uneingeschränkt miteinander verglichen werden [176].

Zusammenfassend ist der Effekt eines perioperativen NIRS-Monitorings auf das postoperative zerebrale Outcome unklar. Darüber hinaus sind die Grenzwerte für eine Intervention und die Interventionen selbst nicht ausreichend untersucht. Hierfür werden prospektive Interventionsstudien benötigt.

Redaktionelle Unabhängigkeit

Finanzierung der Leitlinie

Die Leitliniengruppe arbeitete ehrenamtlich. Reise- und Übernachtungskosten, die im Zusammenhang mit Leitlinientreffen entstanden sind, wurden von der DGAI getragen.

Darlegung von und Umgang mit Interessenkonflikten

Interessenkonflikte von allen an der Leitlinienentwicklung Beteiligten wurden über **Interessenerklärung Online** der AWMF erhoben. Eine Evaluation der Interessen hinsichtlich des Vorliegens von Interessenkonflikten erfolgte durch Prof. Dr. Bernd Saugel, Prof. Dr. Michael Sander, Prof. Dr. Daniel Reuter und Prof. Dr. Bettina Jungwirth nach den Vorgaben der AWMF. Eine vollständige Darstellung der Interessenkonflikte mit Themenbezug zur Leitlinie und der Bewertung findet sich im Anhang 1.

Folgende Kriterien wurden zur Bewertung von der Leitliniengruppe verabschiedet und herangezogen:

- **Kein:** Keine Interessen, die als Interessenkonflikt bewertet wurden, d. h., es liegen keinerlei Sachverhalte vor oder diese haben keinen thematischen Bezug zur Leitlinie. Konsequenz: keine Einschränkungen.
- **Gering:** Persönliche Honorare von Firmen (**Vortragshonorare**) mit Themenbezug zur Leitlinie. Konsequenz: kein federführendes Verfassen betreffender Kapitel.
- **Moderat:** Persönliche Honorare von Firmen (**Beratung, Advisory Board**) mit Themenbezug zur Leitlinie. Konsequenz: Enthaltung bei Abstimmung der Kernfragen, kein federführendes Verfassen betreffender Kapitel.
- **Hoch:** Aktienbesitze, Patentbesitze mit Themenbezug zur Leitlinie. Konsequenz: Ausschluss aus der Leitliniengruppe.

Literatur

1. Pearse RM, Moreno RP, Bauer P, Pelosi P, Metnitz P, Spies C, et al: European Surgical Outcomes Study group for the Trials groups of the European Society of Intensive Care Medicine and the European Society of Anesthesiology: Mortality after surgery in Europe: a 7 day cohort study. *Lancet* 2012;380: 1059–1065
2. Global patient outcomes after elective surgery: prospective cohort study in 27 low-, middle- and high-income countries. *Br J Anaesth* 2016;117: 601–609
3. Rhodes A, Cecconi M, Hamilton M, Poloniecki J, Woods J, Boyd O, et al: Goal-directed therapy in high-risk surgical patients: a 15-year follow-up study. *Intensive Care Med* 2010;36:1327–1332
4. Funcke S, Sander M, Goepfert MS, Groesdonk H, Heringlake M, Hirsch J, et al: ICU-CardioMan Investigators: Practice of hemodynamic monitoring and management in German, Austrian, and Swiss intensive care units: the multi-center cross-sectional ICU-CardioMan Study. *Ann Intensive Care* 2016;6:49
5. Teboul JL, Saugel B, Cecconi M, De Backer D, Hofer CK, Monnet X, et al: Less invasive hemodynamic monitoring in critically ill patients. *Intensive Care Med* 2016;42:1350–1359
6. Balzer F, Trauzeddel RF, Ertmer M, Erb J, Heringlake M, Groesdonk HV, et al: Utilization of echocardiography in Intensive Care Units: results of an online survey in Germany. *Minerva Anestesiol* 2019;85:263–270
7. Feldheiser A, Aziz O, Baldini G, Cox BPBW, Fearon KCH, Feldman LS, et al: ENHANCED Recovery After Surgery (ERAS) for gastrointestinal surgery, part 2: consensus statement for anaesthesia practice. *Acta Anaesthesiol Scand* 2016;60:289–334
8. Drzewiecki G, Hood R, Apple H: Theory of the oscillometric maximum and the systolic and diastolic detection ratios. *Ann Biomed Eng* 1994;22:88–96
9. Alpert BS, Quinn D, Gallick D: Oscillometric blood pressure: a review for clinicians. *J Am Soc Hypertens* 2014;8:930–938
10. Pickering TG, Hall JE, Appel LJ, Falkner BE, Graves J, Hill MN, et al: Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals: part 1: blood pressure measurement in humans: a statement for professionals from the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research. *Circulation* 2005;111:697–716
11. Netea RT, Lenders JW, Smits P, Thien T: Both body and arm position significantly influence blood pressure measurement. *J Hum Hypertens* 2003; 17:459–462
12. Wax DB, Lin HM, Leibowitz AB: Invasive and concomitant noninvasive intraoperative blood pressure monitoring: observed differences in measurements and associated therapeutic interventions. *Anesthesiology* 2011; 115:973–978
13. Meidert AS, Dolch ME, Mühlbauer K, Zwissler B, Klein M, Briegel J, et al:

Special Articles

Guidelines and Recommendations

- Oscillometric versus invasive blood pressure measurement in patients with shock: a prospective observational study in the emergency department. *J Clin Monit Comput* 2021;35:387–393
14. Picone DS, Schultz MG, Otahal P, Aakhus S, Al-Jumaily AM, Black JA, et al: Accuracy of Cuff-Measured Blood Pressure: Systematic Reviews and Meta-Analyses. *J Am Coll Cardiol* 2017; 70:572–586
 15. Juri T, Suehiro K, Kimura A, Mukai A, Tanaka K, Yamada T, et al: Impact of continuous non-invasive blood pressure monitoring on hemodynamic fluctuation during general anesthesia: a randomized controlled study. *J Clin Monit Comput* 2018;32:1005–1013
 16. Kouz K, Wegge M, Flick M, Bergholz A, Moll-Khosrawi P, Nitzschke R, et al: Continuous intra-arterial versus intermittent oscillometric arterial pressure monitoring and hypotension during induction of anaesthesia: the AWAKE randomised trial. *Br J Anaesth* 2022;129:478–486
 17. Maheshwari K, Khanna S, Bajracharya GR, Makarova N, Riter Q, Raza S, et al: A Randomized Trial of Continuous Noninvasive Blood Pressure Monitoring During Noncardiac Surgery. *Anesth Analg* 2018;127:424–431
 18. Naylor AJ, Sessler DI, Maheshwari K, Khanna AK, Yang D, Mascha EJ, et al: Arterial Catheters for Early Detection and Treatment of Hypotension During Major Noncardiac Surgery: A Randomized Trial. *Anesth Analg* 2020; 131:1540–1550
 19. Kouz K, Weidemann F, Naebian A, Lohr A, Bergholz A, Thomsen KK, et al: Continuous finger-cuff versus intermittent oscillometric arterial pressure monitoring and hypotension during induction of anesthesia and non-cardiac surgery: The DETECT randomized trial. *Anesthesiology* 2023; 139:298–308
 20. Meidert AS, Briegel J, Saugel B: Principles and pitfalls of arterial blood pressure measurement. *Anaesthesist* 2019;68:637–650
 21. Hansen J, Pohlmann M, Beckmann JH, Klose P, Gruenewald M, Renner J, et al: Comparison of oscillometric, non-invasive and invasive arterial pressure monitoring in patients undergoing laparoscopic bariatric surgery – a secondary analysis of a prospective observational study. *BMC Anesthesiol* 2022;22:83
 22. Schumann R, Meidert AS, Bonney I, Koutentis C, Wesselink W, Kouz K, et al: Intraoperative Blood Pressure Monitoring in Obese Patients. *Anesthesiology* 2021;134:179–188
 23. Saugel B, Sessler DI: Perioperative Blood Pressure Management. *Anesthesiology* 2021;134:250–261
 24. Scheer B, Perel A, Pfeiffer UJ: Clinical review: complications and risk factors of peripheral arterial catheters used for haemodynamic monitoring in anaesthesia and intensive care medicine. *Crit Care* 2002;6:199–204
 25. Nuttall G, Burckhardt J, Hadley A, Kane S, Kor D, Marienau MS, et al: Surgical and Patient Risk Factors for Severe Arterial Line Complications in Adults. *Anesthesiology* 2016;124:590–597
 26. Singh A, Bahadorani B, Wakefield BJ, Makarova N, Kumar PA, Tong MZ, et al: Brachial Arterial Pressure Monitoring during Cardiac Surgery Rarely Causes Complications. *Anesthesiology* 2017; 126:1065–1076
 27. Saugel B, Hoppe P, Nicklas JY, Kouz K, Korner A, Hempel JC, et al: Continuous noninvasive pulse wave analysis using finger cuff technologies for arterial blood pressure and cardiac output monitoring in perioperative and intensive care medicine: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth* 2020;125:25–37
 28. Kim SH, Lilot M, Sidhu KS, Rinehart J, Yu Z, Canales C, et al: Accuracy and precision of continuous noninvasive arterial pressure monitoring compared with invasive arterial pressure: a systematic review and meta-analysis. *Anesthesiology* 2014;120:1080–1097
 29. Saugel B, Reese PC, Sessler DI, Burfeindt C, Nicklas JY, Pinnschmidt HO, et al: Automated Ambulatory Blood Pressure Measurements and Intraoperative Hypotension in Patients Having Noncardiac Surgery with General Anesthesia: A Prospective Observational Study. *Anesthesiology* 2019;131: 74–83
 30. Maheshwari K, Turan A, Mao G, Yang D, Niazi AK, Agarwal D, et al: The association of hypotension during non-cardiac surgery, before and after skin incision, with postoperative acute kidney injury: a retrospective cohort analysis. *Anaesthesia* 2018;73: 1223–1228
 31. Saugel B, Bebert EJ, Briesenick L, Hoppe P, Greiwe G, Yang D, et al: Mechanisms contributing to hypotension after anesthetic induction with sufentanil, propofol, and rocuronium: a prospective observational study. *J Clin Monit Comput* 2022;36:341–347
 32. Walsh M, Devereaux PJ, Garg AX, Kurz A, Turan A, Rodseth RN, et al: Relationship between intraoperative mean arterial pressure and clinical outcomes after noncardiac surgery: toward an empirical definition of hypotension. *Anesthesiology* 2013;119:507–515
 33. Gregory A, Stapelfeldt WH, Khanna AK, Smischney NJ, Boero JJ, Chen Q, et al: Intraoperative Hypotension Is Associated With Adverse Clinical Outcomes After Noncardiac Surgery. *Anesth Analg* 2021;132:1654–1665
 34. Salmasi V, Maheshwari K, Yang D, Mascha EJ, Singh A, Sessler DI, et al: Relationship between Intraoperative Hypotension, Defined by Either Reduction from Baseline or Absolute Thresholds, and Acute Kidney and Myocardial Injury after Noncardiac Surgery: A Retrospective Cohort Analysis. *Anesthesiology* 2017;126:47–65
 35. Wesselink EM, Kappen TH, Torn HM, Slooter AJC, van Klei WA: Intraoperative hypotension and the risk of postoperative adverse outcomes: a systematic review. *Br J Anaesth* 2018;121:706–721
 36. Moussa Pacha H, Alahdab F, Al-Khadra Y, Idris A, Rabbat F, Darmoch F, et al: Ultrasound-guided versus palpation-guided radial artery catheterization in adult population: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am Heart J* 2018; 204:1–8
 37. Cho SA, Jang YE, Ji SH, Kim EH, Lee JH, Kim HS, et al: Ultrasound-guided arterial catheterization. *Anesth Pain Med (Seoul)* 2021;16:119–132
 38. Wu G, Chen C, Gu X, Yao Y, Yuan D, Lv J, et al: Ultrasound-Guided Dynamic Needle-Tip Positioning Method Is Superior to Conventional Palpation and Ultrasound Method in Arterial Catheterization. *J Clin Med* 2022;11:6539
 39. Saugel B, Kouz K, Meidert AS, Schulte-Uentrop L, Romagnoli S: How to measure blood pressure using an arterial catheter: a systematic 5-step approach. *Crit Care* 2020;24:172
 40. Magder S: Invasive intravascular hemodynamic monitoring: technical issues. *Crit Care Clin* 2007;23:401–414
 41. Oh C, Lee S, Jeon S, Park H, Chung W, Shim MS, et al: Errors in pressure measurements due to changes in pressure transducer levels during adult cardiac surgery: a prospective observational study. *BMC Anesthesiol* 2023;23:8
 42. Gardner RM: Direct blood pressure measurement – dynamic response requirements. *Anesthesiology* 1981; 54:227–236
 43. Foti L, Michard F, Villa G, Ricci Z, Romagnoli S: The impact of arterial pressure waveform underdamping and resonance filters on cardiac

Guidelines and Recommendations

Special Articles

- output measurements with pulse wave analysis. *Br J Anaesth* 2022;129:e6–e8
44. Rains DD, Rooke GA, Wahl CJ: Pathomechanisms and complications related to patient positioning and anesthesia during shoulder arthroscopy. *Arthroscopy* 2011;27:532–541
 45. Papadonikolakis A, Wiesler ER, Olympio MA, Poehling GG: Avoiding catastrophic complications of stroke and death related to shoulder surgery in the sitting position. *Arthroscopy* 2008;24:481–482
 46. Friedman DJ, Parnes NZ, Zimmer Z, Higgins LD, Warner JJ: Prevalence of cerebrovascular events during shoulder surgery and association with patient position. *Orthopedics* 2009;32
 47. Benes J, Simanova A, Tovarnicka T, Sevcikova S, Kletecka J, Zatloukal J, et al: Continuous non-invasive monitoring improves blood pressure stability in upright position: randomized controlled trial. *J Clin Monit Comput* 2015;29:11–17
 48. Fukada T, Tsuchiya Y, Iwakiri H, Ozaki M, Nomura M: Forehead Regional Oxygen Saturation (rSO₂)-Related Ear-Level Arterial Pressure and Lower Thigh rSO₂ in the Steep Trendelenburg Position with CO₂ Pneumoperitoneum and the Beach Chair Position. *Cureus* 2021;13:e15687
 49. Moss L, Shaw M, Piper I, Arvind DK, Hawthorne C: Automatic Calculation of Hydrostatic Pressure Gradient in Patients with Head Injury: A Pilot Study. *Acta Neurochir Suppl* 2016;122:263–266
 50. Kalmar AF, Foubert L, Hendrickx JF, Mottrie A, Absalom A, Mortier EP, et al: Influence of steep Trendelenburg position and CO₂ pneumoperitoneum on cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory homeostasis during robotic prostatectomy. *Br J Anaesth* 2010;104:433–439
 51. Chantler PD, Lakatta EG: Arterial-ventricular coupling with aging and disease. *Front Physiol* 2012;3:90
 52. Magder SA: The highs and lows of blood pressure: toward meaningful clinical targets in patients with shock. *Crit Care Med* 2014;42:1241–1251
 53. Ackland GL, Brudney CS, Cecconi M, Ince C, Irwin MG, Lacey J, et al: Perioperative Quality Initiative-3 workgroup, POQI chairs, Physiology group, Preoperative blood pressure group, Intraoperative blood pressure group, Postoperative blood pressure group: Perioperative Quality Initiative consensus statement on the physiology of arterial blood pressure control in perioperative medicine. *Br J Anaesth* 2019;122:542–551
 54. Ahuja S, Mascha EJ, Yang D, Maheshwari K, Cohen B, Khanna AK, et al: Associations of Intraoperative Radial Arterial Systolic, Diastolic, Mean, and Pulse Pressures with Myocardial and Acute Kidney Injury after Noncardiac Surgery: A Retrospective Cohort Analysis. *Anesthesiology* 2020;132:291–306
 55. Nichols WW, Edwards DG: Arterial elastance and wave reflection augmentation of systolic blood pressure: deleterious effects and implications for therapy. *J Cardiovasc Pharmacol Ther* 2001;6:5–21
 56. Mascha EJ, Yang D, Weiss S, Sessler DI: Intraoperative Mean Arterial Pressure Variability and 30-day Mortality in Patients Having Noncardiac Surgery. *Anesthesiology* 2015;123:79–91
 57. Sun LY, Wijeyesundera DN, Tait GA, Beattie WS: Association of intraoperative hypotension with acute kidney injury after elective noncardiac surgery. *Anesthesiology* 2015;123:515–523
 58. Monk TG, Bronsert MR, Henderson WG, Mangione MP, Sum-Ping ST, Bents DR, et al: Association between Intraoperative Hypotension and Hypertension and 30-day Postoperative Mortality in Noncardiac Surgery. *Anesthesiology* 2015;123:307–319
 59. van Waes JA, van Klei WA, Wijeyesundera DN, van Wolfswinkel L, Lindsay TF, Beattie WS: Association between Intraoperative Hypotension and Myocardial Injury after Vascular Surgery. *Anesthesiology* 2016;124:35–44
 60. Stapelfeldt WH, Yuan H, Dryden JK, Strehl KE, Cywinski JB, Ehrenfeld JM, et al: The SLUScore: A Novel Method for Detecting Hazardous Hypotension in Adult Patients Undergoing Noncardiac Surgical Procedures. *Anesth Analg* 2017;124:1135–1152
 61. Mathis MR, Naik BI, Freundlich RE, Shanks AM, Heung M, Kim M, et al: Preoperative Risk and the Association between Hypotension and Postoperative Acute Kidney Injury. *Anesthesiology* 2020;132:461–475
 62. Wanner PM, Wulff DU, Djurdjevic M, Korte W, Schnider TW, Filipovic M: Targeting Higher Intraoperative Blood Pressures Does Not Reduce Adverse Cardiovascular Events Following Noncardiac Surgery. *J Am Coll Cardiol* 2021;78:1753–1764
 63. Futier E, Lefrant JY, Guinot PG, Godet T, Lorne E, Cuvillon P, et al: Effect of Individualized vs Standard Blood Pressure Management Strategies on Postoperative Organ Dysfunction Among High-Risk Patients Undergoing Major Surgery: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* 2017;318:1346–1357
 64. Marcucci M, Painter TW, Conen D, Lomivorotov V, Sessler DI, Chan MTV, et al: Hypotension-Avoidance Versus Hypertension-Avoidance Strategies in Noncardiac Surgery: An International Randomized Controlled Trial. *Ann Intern Med* 2023;176:605–614
 65. Sessler DI, Bloomstone JA, Aronson S, Berry C, Gan TJ, Kellum JA, et al: Perioperative Quality Initiative consensus statement on intraoperative blood pressure, risk and outcomes for elective surgery. *Br J Anaesth* 2019;122:563–574
 66. Bergholz A, Meidert AS, Flick M, Krause L, Vettorazzi E, Zapf A, et al: Effect of personalized perioperative blood pressure management on postoperative complications and mortality in high-risk patients having major abdominal surgery: protocol for a multicenter randomized trial (IMPROVE-multi). *Trials* 2022;23:946
 67. Shimada T, Mascha EJ, Yang D, Bravo M, Rivas E, Ince I, et al: Intra-operative hypertension and myocardial injury and/or mortality and acute kidney injury after noncardiac surgery: A retrospective cohort analysis. *Eur J Anaesthesiol* 2022;39:315–323
 68. Saugel B, Vincent JL, Wagner JY: Personalized hemodynamic management. *Curr Opin Crit Care* 2017;23:334–341
 69. Kusumoto FM, Schoenfeld MH, Barrett C, Edgerton JR, Ellenbogen KA, Gold MR, et al: 2018 ACC/AHA/HRS Guideline on the Evaluation and Management of Patients With Bradycardia and Cardiac Conduction Delay: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *Circulation* 2019;140:e382–e482
 70. Page RL, Joglar JA, Caldwell MA, Calkins H, Conti JB, Deal BJ, et al: 2015 ACC/AHA/HRS Guideline for the Management of Adult Patients With Supraventricular Tachycardia: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *Circulation* 2016;133:e506–74
 71. Kouz K, Hoppe P, Reese P, Burfeindt C, Flick M, Briesenick L, et al: Relationship Between Intraoperative and Preoperative Ambulatory Nighttime Heart Rates: A Secondary Analysis of a Prospective Observational Study. *Anesth Analg* 2021;133:406–412

Special Articles

Guidelines and Recommendations

72. Sato M, Tanaka M, Umehara S, Nishikawa T: Baroreflex control of heart rate during and after propofol infusion in humans. *Br J Anaesth* 2005;94:577–581
73. DeSouza G, Lewis MC, TerRiet MF: Severe bradycardia after remifentanyl. *Anesthesiology* 1997;87:1019–1020
74. Poterman M, Scheeren TWL, van der Velde MI, Buisman PL, Allaert S, Struys M, et al: Prophylactic atropine administration attenuates the negative haemodynamic effects of induction of anaesthesia with propofol and high-dose remifentanyl: A randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol* 2017;34:695–701
75. Sear JW: Role of cardiac reflexes in the control of heart rate: what does the anesthesiologist need to know? *Anesth Analg* 2012;114:491–493
76. Doyle DJ, Mark PW: Reflex bradycardia during surgery. *Can J Anaesth* 1990;37:219–222
77. Kouz K, Brockmann L, Timmermann LM, Bergholz A, Flick M, Maheshwari K, et al: Endotypes of intraoperative hypotension during major abdominal surgery: a retrospective machine learning analysis of an observational cohort study. *Br J Anaesth* 2023;130:253–261
78. Soar J, Böttiger BW, Carli P, Couper K, Deakin CD, Djävrv T, et al: European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation* 2021;161:115–151
79. McDonagh TA, Metra M, Adamo M, Gardner RS, Baumbach A, Bohm M, et al: 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J* 2021;42:3599–3726
80. Brugada J, Katritsis DG, Arbelo E, Arribas F, Bax JJ, Blomstrom-Lundqvist C, et al: 2019 ESC Guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia. The Task Force for the management of patients with supraventricular tachycardia of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2020;41:655–720
81. Whitlock EL, Feiner JR, Chen LL: Perioperative Mortality, 2010 to 2014: A Retrospective Cohort Study Using the National Anesthesia Clinical Outcomes Registry. *Anesthesiology* 2015;123:1312–1321
82. Talmor D, Kelly B: How to better identify patients at high risk of postoperative complications? *Curr Opin Crit Care* 2017;23:417–423
83. Pearse RM, Harrison DA, James P, Watson D, Hinds C, Rhodes A, et al: Identification and characterisation of the high-risk surgical population in the United Kingdom. *Crit Care* 2006;10:R81
84. Vascular Events in Noncardiac Surgery Patients Cohort Evaluation Study Investigators; Spence J, LeManach Y, Chan MTV, Wang CY, Sigamani A, et al: Association between complications and death within 30 days after noncardiac surgery. *CMAJ* 2019;191:E830–E837
85. Dalton JE, Kurz A, Turan A, Mascha EJ, Sessler DI, Saager L: Development and validation of a risk quantification index for 30-day postoperative mortality and morbidity in noncardiac surgical patients. *Anesthesiology* 2011;114:1336–1344
86. Mayhew D, Mendonca V, Murthy BVS: A review of ASA physical status – historical perspectives and modern developments. *Anaesthesia* 2019;74:373–379
87. Copeland GP, Jones D, Walters M: POSSUM: a scoring system for surgical audit. *Br J Surg* 1991;78:355–360
88. Chong MA, Wang Y, Berbenetz NM, McConachie I: Does goal-directed haemodynamic and fluid therapy improve peri-operative outcomes?: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Anaesthesiol* 2018;35:469–483
89. Ceconi M, Corredor C, Arulkumar N, Abuella G, Ball J, Grounds RM, et al: Clinical review: Goal-directed therapy – what is the evidence in surgical patients? The effect on different risk groups. *Crit Care* 2013;17:209
90. Vincent JL, Rhodes A, Perel A, Martin GS, Della Rocca G, Vallet B, et al: Clinical review: Update on hemodynamic monitoring – a consensus of 16. *Crit Care* 2011;15:229
91. Cioccarli L, Luethi N, Glassford NJ, Bellomo R: The normal cardiac index in older healthy individuals: a scoping review. *Crit Care Resusc* 2019;21:9–17
92. Carlsson M, Andersson R, Bloch KM, Steding-Ehrenborg K, Mosen H, Stahlberg F, et al: Cardiac output and cardiac index measured with cardiovascular magnetic resonance in healthy subjects, elite athletes and patients with congestive heart failure. *J Cardiovasc Magn Reson* 2012;14:51
93. Jessen MK, Vallentin MF, Holmberg MJ, Bolther M, Hansen FB, Holst JM, et al: Goal-directed haemodynamic therapy during general anaesthesia for non-cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth* 2022;128:416–433
94. Pearse RM, Harrison DA, MacDonald N, Gillies MA, Blunt M, Ackland G, et al: Effect of a perioperative, cardiac output-guided hemodynamic therapy algorithm on outcomes following major gastrointestinal surgery: a randomized clinical trial and systematic review. *JAMA* 2014;311:2181–2190
95. Salzwedel C, Puig J, Carstens A, Bein B, Molnar Z, Kiss K, et al: Perioperative goal-directed hemodynamic therapy based on radial arterial pulse pressure variation and continuous cardiac index trending reduces postoperative complications after major abdominal surgery: a multi-center, prospective, randomized study. *Crit Care* 2013;17:R191
96. Nicklas JY, Diener O, Leistenschneider M, Sellhorn C, Schon G, Winkler M, et al: Personalised haemodynamic management targeting baseline cardiac index in high-risk patients undergoing major abdominal surgery: a randomised single-centre clinical trial. *Br J Anaesth* 2020;125:122–132
97. Parker T, Brealey D, Dyson A, Singer M: Optimising organ perfusion in the high-risk surgical and critical care patient: a narrative review. *Br J Anaesth* 2019;123:170–176
98. Edwards MR, Forbes G, MacDonald N, Berdunov V, Mihaylova B, Dias P, et al: Optimisation of Perioperative Cardiovascular Management to Improve Surgical Outcome II (OPTIMISE II) trial: study protocol for a multicentre international trial of cardiac output-guided fluid therapy with low-dose inotrope infusion compared with usual care in patients undergoing major elective gastrointestinal surgery. *BMJ Open* 2019;9:e023455
99. Arulkumar N, Corredor C, Hamilton MA, Ball J, Grounds RM, Rhodes A, et al: Cardiac complications associated with goal-directed therapy in high-risk surgical patients: a meta-analysis. *Br J Anaesth* 2014;112:648–659
100. Takala J, Meier-Hellmann A, Eddleston J, Hulstaert P, Sramek V: Effect of dopexamine on outcome after major abdominal surgery: a prospective, randomized, controlled multicenter study. European Multicenter Study Group on Dopexamine in Major Abdominal Surgery. *Crit Care Med* 2000;28:3417–3423
101. Shoemaker WC, Appel PL, Kram HB, Waxman K, Lee TS: Prospective trial of supranormal values of survivors as therapeutic goals in high-risk surgical patients. *Chest* 1988;94:1176–1186
102. Bednarczyk JM, Fridfinnson JA, Kumar A, Blanchard L, Rabbani R, Bell D, et al: Incorporating Dynamic Assessment of Fluid Responsiveness Into Goal-Directed Therapy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Crit Care Med* 2017;45:1538–1545

Guidelines and Recommendations

Special Articles

103. Dave C, Shen J, Chaudhuri D, Herritt B, Fernando SM, Reardon PM, et al: Dynamic Assessment of Fluid Responsiveness in Surgical ICU Patients Through Stroke Volume Variation is Associated With Decreased Length of Stay and Costs: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Intensive Care Med* 2020;35:14–23
104. Magder S: Fluid status and fluid responsiveness. *Curr Opin Crit Care* 2010;16:289–296
105. Vincent JL, Cecconi M, De Backer D: The fluid challenge. *Crit Care* 2020;24:703
106. Monnet X, Malbrain M, Pinsky MR: The prediction of fluid responsiveness. *Intensive Care Med* 2023;49:83–86
107. Messina A, Robba C, Calabro L, Zambelli D, Iannuzzi F, Molinari E, et al: Perioperative liberal versus restrictive fluid strategies and postoperative outcomes: a systematic review and meta-analysis on randomised- controlled trials in major abdominal elective surgery. *Crit Care* 2021;25:205
108. Michard F: Changes in arterial pressure during mechanical ventilation. *Anesthesiology* 2005;103:419–428; quiz 449–5
109. Marik PE, Cavallazzi R, Vasu T, Hirani A: Dynamic changes in arterial waveform derived variables and fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a systematic review of the literature. *Crit Care Med* 2009;37:2642–2647
110. Perel A, Pizov R, Cotev S: Respiratory variations in the arterial pressure during mechanical ventilation reflect volume status and fluid responsiveness. *Intensive Care Med* 2014;40:798–807
111. Perel A: Using Dynamic Variables to Guide Perioperative Fluid Management. *Anesthesiology* 2020;133:929–935
112. Messina A, Pelaia C, Bruni A, Garofalo E, Bonicolini E, Longhini F, et al: Fluid Challenge During Anesthesia: A Systematic Review and Meta-analysis. *Anesth Analg* 2018;127:1353–1364
113. Cannesson M, Le Manach Y, Hofer CK, Goarin JP, Lehot JJ, Vallet B, et al: Assessing the diagnostic accuracy of pulse pressure variations for the prediction of fluid responsiveness: a “gray zone” approach. *Anesthesiology* 2011;115:231–241
114. Michard F, Chemla D, Teboul JL: Applicability of pulse pressure variation: how many shades of grey? *Crit Care* 2015;19:144
115. Fischer MO, Dechanet F, du Cheyron D, Gerard JL, Hanouz JL, Fellahi JL: Evaluation of the knowledge base of French intensivists and anaesthesiologists as concerns the interpretation of respiratory arterial pulse pressure variation. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2015;34:29–34
116. Biais M, de Courson H, Lancon R, Pereira B, Bardonneau G, Griton M, et al: Mini-fluid Challenge of 100 ml of Crystalloid Predicts Fluid Responsiveness in the Operating Room. *Anesthesiology* 2017;127:450–456
117. Cecconi M, Parsons AK, Rhodes A: What is a fluid challenge? *Curr Opin Crit Care* 2011;17:290–295
118. Aya HD, Rhodes A, Chis Ster I, Fletcher N, Grounds RM, Cecconi M: Hemodynamic Effect of Different Doses of Fluids for a Fluid Challenge: A Quasi-Randomized Controlled Study. *Crit Care Med* 2017;45:e161–e168
119. Messina A, Calabro L, Pugliese L, Lulja A, Sopuch A, Rosalba D, et al: Fluid challenge in critically ill patients receiving haemodynamic monitoring: a systematic review and comparison of two decades. *Crit Care* 2022;26:186
120. Trauzeddel RF, Nordine M, Groesdonk HV, Michels G, Pfister R, Reuter DA, et al: Perioperative optimization using hemodynamically focused echocardiography in high-risk patients – A practice guide. *Anaesthesist* 2021;70:772–784
121. American Society of Anesthesiology and Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force on Transesophageal Echocardiography: Practice guidelines for perioperative transesophageal echocardiography. An updated report by the American Society of Anesthesiologists and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force on Transesophageal Echocardiography. *Anesthesiology* 2010;112:1084–1096
122. Steeds RP, Garbi M, Cardim N, Kasprzak JD, Sade E, Nihoyannopoulos P, et al: EACVI appropriateness criteria for the use of transthoracic echocardiography in adults: a report of literature and current practice review. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:1191–1204
123. Poelaert J, Schmidt C, Colardyn F: Transoesophageal echocardiography in the critically ill. *Anaesthesia* 1998;53:55–68
124. Halvorsen S, Mehilli J, Cassese S, Hall TS, Abdelhamid M, Barbato E, et al: 2022 ESC Guidelines on cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery. *Eur Heart J* 2022;43:3826–3924
125. Loxdale SJ, Sneyd JR, Donovan A, Werrett G, Viira DJ: The role of routine pre-operative bedside echocardiography in detecting aortic stenosis in patients with a hip fracture. *Anaesthesia* 2012;67:51–54
126. Sheth A, Dabo-Trubelja A: Perioperative focused cardiac ultrasound: a brief report. *J Anesth Crit Care* 2021;13:55–60
127. Chang HY, Chang WT, Liu YW: Application of transthoracic echocardiography in patients receiving intermediate- or high-risk noncardiac surgery. *PLoS One* 2019;14:e0215854
128. Canty DJ, Royse CF, Kilpatrick D, Williams DL, Royse AG: The impact of pre-operative focused transthoracic echocardiography in emergency noncardiac surgery patients with known or risk of cardiac disease. *Anaesthesia* 2012;67:714–720
129. Heiberg J, El-Ansary D, Canty DJ, Royse AG, Royse CF: Focused echocardiography: a systematic review of diagnostic and clinical decision-making in anaesthesia and critical care. *Anaesthesia* 2016;71:1091–1100
130. Greim CA, Göpfert M, Treskatsch S, Ender J, Kim SC, Weber SU: Zertifizierung für die sonographische Ausbildung in der Anästhesiologie und Intensivmedizin – Übersicht mit Einführung von SONO-ZERT und PFE-Zertifikat. *Anästh Intensivmed* 2022;63:112–115
131. Greim CA, Weber S, Göpfert M, Groesdonk H, Treskatsch S, Wolf B, et al: Perioperative fokussierte Echokardiographie in der Anästhesiologie und Intensivmedizin. *Anästh Intensivmed* 2017;58:616–648
132. DGAI Verbandsmitteilung. TEE-Zertifizierung nach den Richtlinien der DGAI: Aktueller Stand und zukünftige Regelung. *Anästh Intensivmed* 2008;49:97–104
133. Venkataraman R, Kellum JA: Defining acute renal failure: the RIFLE criteria. *J Intensive Care Med* 2007;22:187–193
134. Bellomo R, Ronco C, Kellum JA, Mehta RL, Palevsky P; Acute Dialysis Quality Initiative workgroup: Acute renal failure – definition, outcome measures, animal models, fluid therapy and information technology needs: the Second International Consensus Conference of the Acute Dialysis Quality Initiative (ADQI) Group. *Crit Care* 2004;8:R204–R212
135. Mehta RL, Kellum JA, Shah SV, Molitoris BA, Ronco C, Warnock DG, et al: Acute Kidney Injury Network: report of an initiative to improve outcomes in acute kidney injury. *Crit Care* 2007;11:R31
136. Milder DA, Liang SS, Ong SGK, Kam PCA: Association between intraoperative oliguria and postoperative acute kidney injury in non-cardiac surgical

Special Articles

Guidelines and Recommendations

- patients: a systematic review and meta-analysis. *J Anesth* 2023;37:219–233
137. Pang Z, Liang S, Xing M, Zhou N, Guo Q, Zou W: The correlation of intraoperative oliguria with acute kidney injury after noncardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Int J Surg* 2023;109:449–457
138. Myles PS, McLroy DR, Bellomo R, Wallace S: Importance of intraoperative oliguria during major abdominal surgery: findings of the Restrictive versus Liberal Fluid Therapy in Major Abdominal Surgery trial. *Br J Anaesth* 2019;122:726–733
139. Egal M, Erler NS, de Geus HR, van Bommel J, Groeneveld AB: Targeting Oliguria Reversal in Goal-Directed Hemodynamic Management Does Not Reduce Renal Dysfunction in Perioperative and Critically Ill Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Anesth Analg* 2016;122:173–185
140. Ostermann M, Shaw AD, Joannidis M: Management of oliguria. *Intensive Care Med* 2023;49:103–106
141. van der Zee EN, Egal M, Gommers D, Groeneveld AB: Targeting urine output and 30-day mortality in goal-directed therapy: a systematic review with meta-analysis and meta-regression. *BMC Anesthesiol* 2017;17:22
142. Casserly B, Phillips GS, Schorr C, Dellinger RP, Townsend SR, Osborn TM, et al: Lactate measurements in sepsis-induced tissue hypoperfusion: results from the Surviving Sepsis Campaign database. *Crit Care Med* 2015;43:567–573
143. Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, Shankar-Hari M, Annane D, Bauer M, et al: The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA* 2016;315:801–810
144. Bakker J, Nijsten MW, Jansen TC: Clinical use of lactate monitoring in critically ill patients. *Ann Intensive Care* 2013;3:12
145. Andersen LW: Lactate Elevation During and After Major Cardiac Surgery in Adults: A Review of Etiology, Prognostic Value, and Management. *Anesth Analg* 2017;125:743–752
146. Merigalli A, Oliveira RP, Friedman G: Occult hypoperfusion is associated with increased mortality in hemodynamically stable, high-risk, surgical patients. *Crit Care* 2004;8:R60–R65
147. Kraut JA, Madias NE: Lactic acidosis. *N Engl J Med* 2014;371:2309–2319
148. Vincent JL, De Backer D: Oxygen transport-the oxygen delivery controversy. *Intensive Care Med* 2004;30:1990–1996
149. Smith ZR, Horng M, Rech MA: Medication-Induced Hyperlactatemia and Lactic Acidosis: A Systematic Review of the Literature. *Pharmacotherapy* 2019;39:946–963
150. Andersen LW, Mackenhauer J, Roberts JC, Berg KM, Cocchi MN, Donnino MW: Etiology and therapeutic approach to elevated lactate levels. *Mayo Clin Proc* 2013;88:1127–1140
151. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, Beale R, Bakker J, Hofer C, et al: Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med* 2014;40:1795–1815
152. Shepherd SJ, Pearse RM: Role of central and mixed venous oxygen saturation measurement in perioperative care. *Anesthesiology* 2009;111:649–656
153. Walley KR: Use of central venous oxygen saturation to guide therapy. *Am J Respir Crit Care Med* 2011;184:514–520
154. van Beest P, Wietasch G, Scheeren T, Spronk P, Kuiper M: Clinical review: use of venous oxygen saturations as a goal – a yet unfinished puzzle. *Crit Care* 2011;15:232
155. Ho KM, Harding R, Chamberlain J: The impact of arterial oxygen tension on venous oxygen saturation in circulatory failure. *Shock* 2008;29:3–6
156. Collaborative Study Group on Perioperative ScvO₂ Monitoring: Multicentre study on peri- and postoperative central venous oxygen saturation in high-risk surgical patients. *Crit Care* 2006;10:R158
157. Futier E, Robin E, Jabaudon M, Guerin R, Petit A, Bazin JE, et al: Central venous O₂ saturation and venous-to-arterial CO₂ difference as complementary tools for goal-directed therapy during high-risk surgery. *Crit Care* 2010;14:R193
158. Jammer I, Ulvik A, Erichsen C, Lødemel O, Ostgaard G: Does central venous oxygen saturation-directed fluid therapy affect postoperative morbidity after colorectal surgery? A randomized assessor-blinded controlled trial. *Anesthesiology* 2010;113:1072–1080
159. Popel AS, Johnson PC: Microcirculation and Hemorheology. *Annu Rev Fluid Mech* 2005;37:43–69
160. Ince C, Boerma EC, Cecconi M, De Backer D, Shapiro NI, Duranteau J, et al: Second consensus on the assessment of sublingual microcirculation in critically ill patients: results from a task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med* 2018;44:281–299
161. den Uil CA, Bezemer R, Miranda DR, Ince C, Lagrand WK, Hartman M, et al: Intra-operative assessment of human pulmonary alveoli in vivo using Sidestream Dark Field imaging: a feasibility study. *Med Sci Monit* 2009;15:MT137–MT141
162. Nilsson J, Eriksson S, Blind PJ, Rissler P, Sturesson C: Microcirculation changes during liver resection – A clinical study. *Microvasc Res* 2014;94:47–51
163. Sakr Y, Dubois MJ, De Backer D, Creteur J, Vincent JL: Persistent microcirculatory alterations are associated with organ failure and death in patients with septic shock. *Crit Care Med* 2004;32:1825–1831
164. Edul VS, Enrico C, Laviolle B, Vazquez AR, Ince C, Dubin A: Quantitative assessment of the microcirculation in healthy volunteers and in patients with septic shock. *Crit Care Med* 2012;40:1443–1448
165. De Backer D, Donadello K, Sakr Y, Ospina-Tascon G, Salgado D, Scolletta S, et al: Microcirculatory alterations in patients with severe sepsis: impact of time of assessment and relationship with outcome. *Crit Care Med* 2013;41:791–799
166. De Backer D, Dubois MJ, Schartz D, Koch M, Ducart A, Barvais L, et al: Microcirculatory alterations in cardiac surgery: effects of cardiopulmonary bypass and anesthesia. *Ann Thorac Surg* 2009;88:1396–1403
167. Dekker NAM, Veerhoek D, Koning NJ, van Leeuwen ALI, Elbers PWG, van den Brom CE, et al: Postoperative microcirculatory perfusion and endothelial glycocalyx shedding following cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Anaesthesia* 2019;74:609–618
168. Flick M, Duranteau J, Scheeren TWL, Saugel B: Monitoring of the Sublingual Microcirculation During Cardiac Surgery: Current Knowledge and Future Directions. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2020;34:2754–2765
169. De Backer D, Ortiz JA, Salgado D: Coupling microcirculation to systemic hemodynamics. *Curr Opin Crit Care* 2010;16:250–254
170. Ince C: Hemodynamic coherence and the rationale for monitoring the microcirculation. *Crit Care* 2015;19 Suppl 3:S8
171. Bansch P, Flisberg P, Bentzer P: Changes in the sublingual microcirculation during major abdominal surgery and post-operative morbidity. *Acta Anaesthesiol Scand* 2014;58:89–97

Guidelines and Recommendations

Special Articles

172. Stens J, de Wolf SP, van der Zwan RJ, Koning NJ, Dekker NA, Hering JP, et al: Microcirculatory perfusion during different perioperative hemodynamic strategies. *Microcirculation* 2015;22:267–275
173. Flick M, Briesenick L, Peine S, Scheeren TWL, Duranteau J, Saugel B: The effect of moderate intraoperative blood loss and norepinephrine therapy on sublingual microcirculatory perfusion in patients having open radical prostatectomy: An observational study. *Eur J Anaesthesiol* 2021;38:459–467
174. Flick M, Schreiber TH, Montomoli J, Krause L, de Boer HD, Kouz K, et al: Microcirculatory tissue perfusion during general anaesthesia and noncardiac surgery: An observational study using incident dark field imaging with automated video analysis. *Eur J Anaesthesiol* 2022;39:582–590
175. Astapenko D, Benes J, Pouska J, Lehmann C, Islam S, Cerny V: Endothelial glycocalyx in acute care surgery – what anaesthesiologists need to know for clinical practice. *BMC Anesthesiol* 2019;19:238
176. Bickler PE, Feiner JR, Rollins MD: Factors affecting the performance of 5 cerebral oximeters during hypoxia in healthy volunteers. *Anesth Analg* 2013; 117:813–823
177. Henson LC, Calalang C, Temp JA, Ward DS: Accuracy of a cerebral oximeter in healthy volunteers under conditions of isocapnic hypoxia. *Anesthesiology* 1998;88:58–65
178. Heringlake M, Garbers C, Käbler JH, Anderson I, Heinze H, Schön J, et al: Preoperative cerebral oxygen saturation and clinical outcomes in cardiac surgery. *Anesthesiology* 2011;114:58–69
179. Nielsen HB: Systematic review of near-infrared spectroscopy determined cerebral oxygenation during non-cardiac surgery. *Front Physiol* 2014;5:93
180. De Keijzer IN, Massari D, Niezen CK, Bokkers RPH, Vos JJ, Scheeren TWL: Agreement of somatic and renal near-infrared spectroscopy with reference blood samples during a controlled hypoxia sequence: a healthy volunteer study. *J Clin Monit Comput* 2023;37: 805–814.

Korrespondenz-
adresse

**Prof. Dr. med.
Bernd Saugel**

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Zentrum für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Martinststraße 52
20246 Hamburg, Deutschland
E-Mail: b.saugel@uke.de
ORCID-ID: 0000-0001-6619-0722

An der Erstellung der Leitlinie „Intraoperative klinische Anwendung von hämodynamischem Monitoring bei nicht-kardiochirurgischen Patient:innen“ haben maßgeblich mitgewirkt:

T. Anecke

Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin, Klinikum der Universität Witten/Herdecke, Kliniken der Stadt Köln, Krankenhaus Köln-Merheim, Köln

B. Bein

Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Schmerztherapie, Asklepios Klinik St. Georg, Hamburg

M. Flick

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Zentrum für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg

M. Göpfert

Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin, Alexianer St. Hedwig Kliniken Berlin GmbH, Berlin

M. Grünewald

Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Evangelisches Amalie Sieveking Krankenhaus, Hamburg

M. Habicher

Klinik für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin und Schmerztherapie, Universitätsklinikum Gießen, UKGM Justus-Liebig-Universität Gießen

B. Jungwirth

Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Ulm

T. Koch

Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie, Philipps-Universität Marburg

K. Kouz

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Zentrum für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

A. Meidert

Klinik für Anaesthesiologie, Ludwig-Maximilians-Universität München

G. Pestel

Klinik für Anästhesiologie, Universitätsmedizin Mainz

J. Renner

Klinik für Anästhesie und Operative Intensivmedizin, Städtisches Krankenhaus Kiel

D. Reuter

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie, Universitätsmedizin Rostock

S. Sakka

Klinik für Intensivmedizin, Gemeinschaftsklinikum Mittelrhein gGmbH, Akademisches Lehrkrankenhaus der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Kemperhof und Ev. Stift St. Martin, Koblenz

M. Sander

Klinik für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin und Schmerztherapie, Universitätsklinikum Gießen, UKGM Justus-Liebig-Universität Gießen

B. Saugel

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Zentrum für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

S. Treskatsch

Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Corporate Member of Freie Universität Berlin and Humboldt-Universität zu Berlin and Berlin Institute of Health, Berlin

A. Zitzmann

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Intensivmedizin und Schmerztherapie, Universitätsmedizin Rostock

Anhang 1

Leitlinienkoordination: Prof. Dr. Bernd Saugel, Prof. Dr. Daniel Reuter, Prof. Dr. Michael Sander, Prof. Dr. Bettina Jungwirth

Leitlinie: Intraoperative klinische Anwendung von hämodynamischem Monitoring bei nicht-kardiochirurgischen Patient:innen

Registernummer: 001–049

Tabelle zur Erklärung von Interessen und Umgang mit Interessenkonflikten

Im Folgenden sind die Interessenerklärungen als tabellarische Zusammenfassung dargestellt sowie die Ergebnisse der Interessenkonfliktbewertung und Maßnahmen, die nach Diskussion der Sachverhalte von der Leitliniengruppe beschlossen und umgesetzt wurden.

	Tätigkeit als Berater und/oder Gutachter	Mitarbeit in einem Wissenschaftlichen Beirat (advisory board)	Bezahlte Vortrags- oder Schulungstätigkeit	Bezahlte Autoren- oder Co-Autorenschaft	Forschungsvorhaben / Durchführung klinischer Studien	Eigentümerinteressen (Patent, Urheberrecht, Aktienbesitz)	Indirekte Interessen	Von COI betroffene Themen der Leitlinie, Einstufung bzgl. der Relevanz, Konsequenz
Prof. Dr. Annecke, Thorsten	Landgericht Trier Ärztekammer Hamburg	Keine	FomF Deutschland, medizinische Fortbildungen Anästhesiologie Forschung und Fortbildung e. V. CSL Behring	Elsevier	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand, ZIM) Anästhesiologie Forschung und Fortbildung e. V. corpuls Deutschland CytoSorbents	Nein	Mitglied: DGAI, BDA, DIVI, ESAIC, IATSIC Wissenschaftliche Tätigkeit: Themenkomplex Schock, Intensivmedizin, Ischämie/Reperfusion Klinische Tätigkeit: Klinische Anästhesiologie und Intensivmedizin	Hämodynamisches Monitoring und Management (gering), Limitierung von Leitungsfunktion
Prof. Dr. Bein, Berthold	Edwards Lifesciences Grünenthal CSL Behring	Pharmacosmos	Nein	Nein	Nein	Nein	Mitglied: DGAI; Stellv. Landesvorsitzender des Landesverbands Hamburg	Hämodynamisches Monitoring und Management (moderat), Stimmenthaltung
Dr. Flick, Moritz	Nein	Nein	CNSystems Edwards Lifesciences	Thieme	Werner Otto Stiftung CNSystems	Nein	Mitglied: DGAI, ESAIC Wissenschaftliche Tätigkeit: Hämodynamisches Monitoring und Management, Perioperatives und intensivmedizinisches Monitoring der Mikrozirkulation Klinische Tätigkeit: Anästhesiologie und Intensivmedizin	Hämodynamisches Monitoring und Management (gering), Limitierung von Leitungsfunktion
Prof. Dr. Grünewald, Matthias	GE HealthCare	Johnson & Johnson	Edwards Lifesciences Medtronic Grünenthal	Nein	Nein	Nein	Wissenschaftliche Tätigkeit: Haemodynamic monitoring, less invasive Klinische Tätigkeit: Monitoring high risk patients	Hämodynamisches Monitoring und Management (moderat), Stimmenthaltung
Priv.-Doz. Dr. Göpfert, Matthias	Nein	Ebnet Medical	Nein	Nein	Nein	Nein	Mitglied: DGAI; Arbeitskreis Ultraschall	Hämodynamisches Monitoring und Management (moderat), Stimmenthaltung
Dr. Habicher, Marit	Nein	Nein	Edwards Lifesciences Baxter	Thieme	Nein	Nein	Mitglied: DGAI, DIVI Autorin der S3-Leitlinie zur intensivmedizinischen Versorgung herzchirurgischer Patienten: Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf Wissenschaftliche Tätigkeit: siehe Pubmed Klinische Tätigkeit: Hämodynamisches Management, Volumenmanagement, Transfusionsmedizin, ERAS	Hämodynamisches Monitoring und Management (gering), Limitierung von Leitungsfunktion
Prof. Dr. Jungwirth, Bettina	Nein	Nein	Nein	Nein	Löwenstein Medical Innovation GmbH Co. KG	Nein	Mitglied: DGAI a. Sprecherin des Wissenschaftlichen Arbeitskreises „Digitale Medizin“, b. Stellvertretende Sprecherin der Sektion Intensivmedizin Mitglied: BDA; ESAIC Wissenschaftliche Tätigkeit: Künstliche Intelligenz und Entscheidungsunterstützung; Hämodynamisches Management; Anästhesie und Alzheimer Demenz; Kognition und extrakorporale Zirkulation Klinische Tätigkeit: Leitung der Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin	kein Thema (keine), keine

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung von vorheriger Seite

Tabelle zur Erklärung von Interessen und Umgang mit Interessenkonflikten

Im Folgenden sind die Interessenerklärungen als tabellarische Zusammenfassung dargestellt sowie die Ergebnisse der Interessenkonfliktbewertung und Maßnahmen, die nach Diskussion der Sachverhalte von der Leitliniengruppe beschlossen und umgesetzt wurden.

	Tätigkeit als Berater und/oder Gutachter	Mitarbeit in einem wissenschaftlichen Beirat (advisory board)	Bezahlte Vortrags- oder Schulungstätigkeit	Bezahlte Autoren- oder Co-Autoren-schaft	Forschungsvorhaben/ Durchführung klinischer Studien	Eigentümerinteressen (Patent, Urheberrecht, Aktienbesitz)	Indirekte Interessen	Von COI betroffene Themen der Leitlinie, Einstufung bzgl. der Relevanz, Konsequenz
Koch, Tilo	ratiopharm GmbH	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Wissenschaftliche Tätigkeit: Hämodynamik, PONV, Schmerz Klinische Tätigkeit: klinische Studien/ Prüfungen	Hämodynamisches Monitoring und Management (moderat), Stimmhaltung
Dr. Kouz, Karim	Edwards Lifesciences Vygon	Nein	Edwards Lifesciences	Elsevier Thieme	Nein	Nein	Mitglied: DGAI, ESA Wissenschaftliche Tätigkeit: siehe PubMed Klinische Tätigkeit: Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin	Hämodynamisches Monitoring und Management (moderat), Stimmhaltung
Priv.-Doz. Dr. Meidert, Agnes Sophia	Nein	Nein	Edwards Lifesciences	Nein	Friedrich-Baur-Stiftung Förderstiftung Dierichs	Nein	Mitglied: DGAI, BDA Wissenschaftliche Tätigkeit: Hämodynamisches Monitoring, Extrazelluläre Vesikel bei kritisch Kranken, Propofoldetektion im Atemgas Klinische Tätigkeit: Anästhesiologie Intensivmedizin	Hämodynamisches Monitoring und Management (gering), Limitierung von Leitungsfunktion
Prof. Dr. Pestel, Gunther	Nein	Nein	Nein	Nein	Nihon Kohden Edwards Lifesciences/ BMEYE CNSystems Masimo Deltex Medical	Nein	Mitglied: DGAI, BDA, ASA, SCCM Wissenschaftliche Tätigkeit: Flüssigkeitsmanagement und -monitoring Klinische Tätigkeit: Klinische Anästhesiologie	kein Thema (keine), keine
Prof. Dr. Renner, Jochen	Nein	Nein	Edwards Lifesciences	Nein	Nein	Nein	Mitglied: BDA, DGAI Wissenschaftliche Tätigkeit: Hämodynamik Klinische Tätigkeit: Kardioanästhesie, Patient Blood Management Beteiligung an Fort-/Ausbildung: Fortbildungscurriculum Kardioanästhesie nach den Empfehlungen der DGAI Ost Kooperation NRW	Hämodynamisches Monitoring und Management (gering), Limitierung von Leitungsfunktion
Prof. Reuter, Daniel	Nein	Edwards Lifesciences	Löwenstein	Nein	Edwards Lifesciences Getinge Sentec Artcline Cytosorb	Nein	Mitglied: DGAI, ESICM, Kommissionen, Arbeitsgruppen	Hämodynamisches Monitoring und Management (moderat), Stimmhaltung
Prof. Dr. Sakka, Samir	Maquet Getinge Group	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Hämodynamisches Monitoring und Management (moderat), Stimmhaltung

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung von vorheriger Seite

Tabelle zur Erklärung von Interessen und Umgang mit Interessenkonflikten

Im Folgenden sind die Interessenerklärungen als tabellarische Zusammenfassung dargestellt sowie die Ergebnisse der Interessenkonfliktbewertung und Maßnahmen, die nach Diskussion der Sachverhalte von der Leitliniengruppe beschlossen und umgesetzt wurden.

	Tätigkeit als Berater und/oder Gutachter	Mitarbeit in einem Wissenschaftlichen Beirat (advisory board)	Bezahlte Vortrags- / oder Schulungstätigkeit	Bezahlte Autoren- oder Co-Autorenschaft	Forschungsvorhaben / Durchführung klinischer Studien	Eigentümerinteressen (Patent, Urheberrecht, Aktienbesitz)	Indirekte Interessen	Von COI betroffene Themen der Leitlinie, Einstufung bzgl. der Relevanz, Konsequenz
Prof. Dr. Sander, Michael	Nein	Edwards Lifesciences	Edwards Lifesciences BTG ORION Pharma	Thieme	Edwards Lifesciences Medtronic	Nein	Mitglied: Präsident des MJC Intensivmedizin UEMS (European Union Medical Specialities); Deutscher Vertreter des European Board of Anaesthesiology / Sektion Anästhesiologie der UEMS; Mitglied des ICU Subcom der ESAIC; Korrespondierender Autor der S3-Leitlinie zur intensivmedizinischen Versorgung herzchirurgischer Patienten: Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf; Schriftführer Arbeitskreis Kardioanästhesie der DGAI; Korrespondierender Koordinator der Aktualisierung der S3-Leitlinie Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz Wissenschaftliche Tätigkeit: siehe Pubmed Klinische Tätigkeit: Hämodynamisches Management, Volumenmanagement, Transfusionsmedizin, Hämostaseologie, ERAS Beteiligung an Fort-/Ausbildung: Klinikfortbildungen; Kinderanästhesie-Symposium; Kardioanästhesie-Symposium; Luftrettungssymposium (jeweils Gießen); Simulationstraining GiSIM in Kooperation mit Edwards Lifesciences und AMOMED	Hämodynamisches Monitoring und Management (moderat), Stimm-enthaltung
Prof. Saugel, Bernd	Edwards Lifesciences Maquet Vygon	Philips Maquet Pulsion Retia	Edwards Lifesciences Philips Baxter GE HealthCare Geringe Vygon	Thieme Springer Journal of Clinical Monitoring and Computing British Journal of Anaesthesia	Edwards Lifesciences Baxter CNSystems Pulsion Osypka DFG DGAI Werner Otto Stiftung	Nein	Mitglied: ESAIC, ASA, ESICM, DGAI Wissenschaftliche Tätigkeit: Perioperatives hämodynamisches Monitoring und Management Publikationen: siehe Pubmed Klinische Tätigkeit: Anästhesiologie (gesamtes Spektrum) und Intensivmedizin	Hämodynamisches Monitoring und Management (moderat), Stimm-enthaltung
Prof. Treskatsch, Sascha	Nein	Nein	Edwards Lifesciences ORION Pharma Philips AMOMED Cytosorbents	Nein	Edwards Lifesciences ORION Pharma Cytosorbents BMWK BMBF	Nein	Mitglied: DGAI, DIVI, EACTAIC, ESAIC, ESICM Wissenschaftliche Tätigkeit: Translationales Management des kardiovaskulären Risikopatienten Klinische Tätigkeit: Klinikdirektor einer Universitätsklinik Beteiligung an Fort-/Ausbildung: im Kontext der Tätigkeit als Klinikdirektor einer Universitätsklinik	Hämodynamisches Monitoring und Management (gering), Limitierung von Leitungsfunktion
Dr. Zitzmann, Amelie	Nein	Nein	Edwards Lifesciences	Nein	Nein	Nein	Wissenschaftliche Tätigkeit: Funktionelles kardiovaskuläres und pulmonales Monitoring mittels Elektroimpedanz-tomographie Klinische Tätigkeit: Perioperative Intensivmedizin	Hämodynamisches Monitoring und Management (gering), Limitierung von Leitungsfunktion